

**Lungenperfusionsszintigrafie bei Kindern mit
angeborenen Herzfehlern —
Semiquantitative Aussagen mittels eines
einfachen Impulszählgerätes**

Christof Rautenberg

1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Universitäts-Kinderklinik München
Direktor: Prof. Dr. K. Betke

Lungenperfusionsszintigrafie bei Kindern mit angeborenen
Herzfehlern - Semiquantitative Aussagen mittels eines
einfachen Impulszählgerätes

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Christof Rautenberg
aus
Passau
Jahr
1977

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Betke
Mitberichterstatter:	Priv.Doiz. Dr. Klein
Dekan:	Prof. Dr. Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	11. 10. 1977



Meinen Eltern

Meiner Ehefrau

INHALTSANGABE

	Seite
I Einleitung	1 - 3
Historischer Rückblick	1 - 2
Grundsätzliches über patho- physiologische Zusammenhänge	2
Problemstellung	3
II Methodik	3 - 10
Krankengut	3 - 7
Radioaktives Material: Dosierung	7
Injektionsverfahren	7
Auswertungsverfahren durch Einteilung der Lunge in vier Quadranten	7 - 9
Statistik	9
III Ergebnisse	10 - 85
A Gesamtkollektiv	10 - 24
Nachweis der Normalverteilung	13 - 24
B Normalfälle	25 - 28
C Pathologische Fälle	29 - 85
1. Pulmonalstenose	29 - 31
2. Ventrikelseptumdefekt	31 - 33
3. Offener Ductus arteriosus Botalli .	34 - 35
4. Links-Rechts-Shunt	36 - 45
5. Pulmonale Hypertonie	46 - 63
I Betrachtung der Aktivitätsver- teilung Lungenoberfeld zu Lungenunterfeld	47 - 56
II Aktivitätsverteilung der rechten und linken Lunge	56 - 63
6. Rechts-Links-Shunt	63 - 68
7. Fallot'sche Tetralogie	68 - 71
8. Hohe Leberaktivität	71 - 83

	9. Weitere Herzfehler und Herz- erkrankungen	84
	10. Prüfung des Zusammenhanges Herz- breite und Quotient $Q_{2,4}$ bzw. $Q_{3,4}$.	84 - 85
IV	Diskussion	85 - 105
	Vergleich der Ergebnisse mit den in der Literatur angegebenen:	
	A Diagnostizierbarkeit von Herzfehlern ...	87
	B Rechts-Links-Verteilung	87 - 92
	C Verteilung obere zu unteren Lungenhälften	92 - 101
	D Betrachtung des Quotienten Q_L	101 - 102
	E Vergleich Szinti-scanner und Szintillationskamera	102 - 103
	F Kritik der Methode	103 - 105
V	Zusammenfassung	106 - 107
VI	Literaturangaben	108 - 113

Lungenperfusionsszintigrafie bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern - Semiquantitative Aussagen mittels eines einfachen Impulszählgerätes

Die Verteilung des Blutstromes in den Lungen kann mit verschiedenen Methoden dargestellt werden: Arteriografie (14), Broncho-spirometrie (12,53,68), Inhalation radioaktiver Gase (2,75) sowie Injektion radioaktiver, gelöster Gase (2). - Obgleich mit diesen Methoden nützliche Informationen erzielt werden können, wird ihre routinemäßige klinische Anwendbarkeit beschränkt durch das potentielle Risiko für den Patienten, die Unbequemlichkeit der Anwendung und Vielfalt der benötigten Apparaturen (27) und den zum Teil ungenügenden Informationsgehalt.

Eine technisch einfache Methode ist die Lungenszintigrafie mit radioaktiv markierten Eiweißpartikeln. Sie ist einer großen Anzahl von Patienten leicht applizierbar und vermittelt viele aufschlußreiche Informationen. (28) Das Risiko dieser Untersuchung ist gering; - Über Zwischenfälle wurde bisher selten berichtet (1,5,19,50,71). -

Müller und Rossier applizierten 1947 zu therapeutischen Zwecken (zum Beispiel bei Lungentumoren) Radiogold-Holzkohlepartikel über einen Herzkatheter in Äste der Arteria pulmonalis (55). 1958 Überprüften Ernst und Mitarbeiter dieses Verfahren und berichteten, daß man mit der Lungenszintigrafie Veränderungen in der Lungendurchblutung nachweisen könne (20). Schon drei Jahre vorher wurde von Bennacerraf erstmals die Lungenszintigrafie mit ^{131}I markierten Eiweißpartikeln beschrieben (3). 1962 gelangten Gibel et al. der Nachweis, daß die Lungenszintigrafie geeignet sei zur Erkennung und Lokalisation von Lungenembolien (33,34).

Taplin et al. beschrieben 1963 und 1964 eine Methode zur Herstellung von ^{131}J markiertem, hitze-denaturiertem Humanalbum in einer bestimmten mittleren Teilchengröße von 5 - 50 μm (63,64). Noch im gleichen Jahr wendeten sie diese Partikel unter anderem für die Lungenperfusionsszintigrafie an (64). 1965 wurde von Ernst et al. (21) sowie von Wagner (73) ihre Bedeutung zur Früherkennung des zentralen Bronchuscarcinom durch Erkennen auffälliger Fixationsdefekte hervorgehoben.

Seitdem wird die Perfusionsszintigrafie der Lunge in vielen dafür ausgerüsteten Kliniken zur Aufdeckung zahlreicher verschiedenartiger Veränderungen benutzt, wobei neben ^{131}J (11,25,27,35,38,46,48,51,64,72,) bevorzugt auch $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (15,24,25,26,31,43,58,62) und $^{113\text{m}}\text{In}$ (25,38,40,58) verwendet werden. Auch über die Benutzung von ^{133}Xe (13,15,43,70), $^{87\text{m}}\text{Sr}$ (10), ^{51}Cr (68) sowie ^{125}J (64,65) wird berichtet.

Das Perfusionsszintigramm spiegelt die Verteilung der in den Kapillaren fixierten radioaktiven Substanz wider. Diese Verteilung ist abhängig von dem regionalen Blutstrom, der sich durch physiologische und pathologische Vorgänge in den Lungen ändern kann (7,15,24,25,27,29,76). Erwähnt sei in diesem Zusammenhang der Euler-Liljestrand'sche Anpassungsreflex (22,23,58): Das Absinken des O_2 -Partialdruckes in den Alveolen und Kapillaren, zum Beispiel bei Minderbelüftung eines bestimmten Lungenbezirkes, löst eine Vasokonstriktion der lokalen Lungenarteriolen aus. Im Unterschied zu dieser reaktiven Änderung der Perfusion ist bei chronischen Lungenerkrankungen (25,49,61,72), Lungenembolien (12,74) sowie angeborenen und erworbenen Herzfehlern (12,25,27,28,29,35,38,40,42,46,47,48,57,61,62,67,68) die Lungenstrombahn und damit die Perfusion primär verändert.

Die vorgelegten Untersuchungen gehen von der Frage aus, ob ebensogut wie durch die aufwendigere und risikoreichere Herzkatheteruntersuchung bzw. Angiografie durch die Verteilung der radioaktiven Substanz und durch Ermitteln einiger Verteilungsverhältnisse erkannt werden können:

1. verschiedene Herfehler,
2. ein Rechts-Links-Shunt (unter Berücksichtigung auch der extrapulmonalen Aktivität) oder ein Links-Rechts-Shunt,
3. Existenz oder Ausmaß einer pulmonalen Hypertonie.

M e t h o d i k

Ausgewertet wurden die Szintigramme von 65 Kindern mit angeborenen Herzfehlern oder mit Verdacht auf eine derartige Mißbildung. Zwei der Patienten waren älter als 14 Jahre, das Mittel lag bei etwa 6 1/2 Jahren, der Zentralwert bei 6 Jahren und 4 Monaten. Die Untersuchungen wurden im zeitlichen Zusammenhang mit Röntgenaufnahme und Herzkatheteruntersuchung durchgeführt. Bei 48 dieser Patienten wurde zusätzlich eine Angiocardiografie des rechten und/oder linken Herzens mit Darstellung der jeweiligen Ausflußbahn angefertigt. Es wurden 29 Mädchen und 36 Jungen untersucht. Bei den meisten Kindern waren die systolischen und diastolischen Druckwerte ermittelt worden; sie lagen zwischen 12/5mmHg und 85/50 mmHg, also im normotensiven bis weit hypertensiven Bereich. Bei 13 Kindern lag ein, wenn auch teilweise kaum hämodynamisch wirksamer Rechts-Links-Shunt vor, bei 22 Patienten ein Links-Rechts-Shunt. Fünf von diesen zeigten einen gekreuzten Shunt, wobei jeweils eine Shuntrichtung deutlich überwog. Soweit vorhanden wurde bei den Fällen mit Links-Rechts-Shunt das Shuntvolumen in Prozentanteilen des Kleinkreislaufvolumens angegeben. Die klinischen Diagnosen umfaßten Normalbefunde und seltene Mißbildungen wie zum Beispiel einen single ventricle mit Pulmonalatresie und persistierendem Ductus arteriosus Botalli. Krankheitsbilder wie Ventrikelseptumdefekt oder persistierender ductus Botalli lagen relativ oft vor. In einigen Fällen war bereits eine

Fall Nr.	Name	Alter Jahr/Mon.	Ge- schlecht	PAD Schlecht (mm Hg)	Angio- grafie	Shunt re-li	li-re	Diagnose
1	E.S.	0/1 1/2	w	-	+	+	-	single ventricle, Pulm.-atresie, DB
2	L.H.	17/11	w	85/50	+	+	-	ASD, VSD
3	J.B.	8/9	m	30/20	-	-	+55%	DB
4	E.G.	7/7	w	25/10	+	-	-	VSD (klein, hämodynam. unbedeutend)
5	M.P.	12/8	w	35/12	-	-	-	inf. + valv. PS
6	A.R.	15/7	m	38/12	-	-	-	Zust. n. F ₄ -Op., Reststenose d. Pulmonalklappen, PI
7	J.P.	13/11	m	-	-	-	-	hochgrad. PS
8	L.F.	13/6	m	34/14	-	-	-	Aortenisthmusstenose
9	H.A.	12/8	w	80/20	+	+	+40%	VSD * (klein)
10	M.S.	12/7	m	-	+	-	-	korrigierte Transposition der großen Gefäße
11	W.C.	12/0	m	-	+	+	-	F ₄
12	R.B.	12/1	m	25/11	+	-	-	kleine AS, hämodynamisch unbedeutend
13	K.T.	11/4	m	17/8	+	+	-	hypopl. re. Ventrikel, PI, Tricuspid. stenose, großer ASD
14	A.B.	11/7	w	33/10	+	-	-	kleiner Restdefekt bei Z.n. Op. eines VSD 1969
15	W.B.	11/2	m	22/12	-	-	-	kein Herzfehler
16	H.H.	10/7	m	28/12	+	-	-	kein Herzfehler
17	B.W.	10/8	m	40/27	-	-	-	DB, hämodynamisch nur ganz geringe Bedeutung
18	P.M.	10/1	m	20/10	+	-	-	sehr kleiner VSD, hämodynamisch unbedeutend
19	J.L.	9/7	m	22/12	+	-	-	Aortenstenose
20	M.D.	9/11	m	35/15	+	-	-	valvuläre PS
21	U.B.	9/4	w	18/12	+	-	-	Myocardiopathie mit geringer infund. Stenose des re. Ventrikels
22	U.S.	9/5	w	40/27	-	-	-	Aortenisthmusstenose
23	W.B.	9/1	m	75/45	-	-	+20%	Z. n. Bänderung bei VSD
24	U.A.	8/9	w	12/7	+	+	(+)	F ₄
25	K.S.	8/7	m	32/10	+	-	-	kleiner VSD, hämodynamisch unbedeutend

Tab. 1 Fortsetzung

Fall Nr.	Name	Alter Jahr/Mon.	Ge- schlecht	PAD (mm Hg)	Angio- grafie	Shunt re-li	li-re	Diagnose
26	A.P.	8/6	m	40/15	+	-	-	single ventricle + outlet chamber bei korrig. Transposition + Bändelung 1964
27	M.B.	8/1	w	40/25	+	-	-	Myocardiopathie + inf. PS, ASD
28	B.B.	8/2	w	18/10	+	-	+20%	DB
29	U.Z.	7/10	m	38/15	+	-	-	kleiner VSD
30	U.B.	7/8	w	32/10	+	-	-	kl. Restdefekt nach Op. VSD 1968
31	B.W.	6/10	w	40/18	+	-	+40%	ASD
32	P.B.	6/8	w	32/17	+	-	-	korrig. Transposition d.gr. Gefäße mit MI + geringer MS
33	R.W.	6/5	m	47/20	+	-	-	Aortenisthmusstenose
34	E.W.	6/4	w	25/10	-	-	+50%	ASD (Sek.-typ)
35	U.H.	6/4	m	24/12	+	-	-	kleiner VSD, hämodyn. ohne Bedeutung
36	F.P.	6/0	m	20/10	+	-	-	Myocardiopathie
37	M.D.	6/1	m	32/15	+	-	-	Aortenisthmusstenose
38	B.A.	6/0	w	22/14	+	-	-	Pulmonalstenose
39	K.L.	5/10	m	90/45	+	(+)	+60%	VSD, AS
40	R.O.	5/9	m	28/12	+	-	-	subvalv. Aortenstenose + Aortenin- suffizienz (gering)
41	A.K.	5/6	w	18/12	-	-	-	DB
42	A.M.	5/4	w	27/12	+	-	-	Aortenisthmusstenose
43	R.V.	5/5	w	-	+	+	-	F4
44	J.O.	5/3	m	28/8	-	-	+30%	DB
45	A.U.	5/1	w	25/14	-	-	+45%	DB
46	S.S.	5/2	w	28/8	-	+	(+)	F4
47	A.H.	4/9	w	30/20	+	-	+40%	DB
48	D.K.	4/3	m	28/12	+	-	+35%	DB
49	M.H.	4/2	w	-	+	+	(+)	geringe Reststenose n.Op. einer Pulmonalatriesie 1967, AS
50	T.K.	3/11	m	62/45	+	-	-	Z. n. Ligatur eines DB + Bändelung d. A.p. 1967, aorto-pulmonales Fenster
51	S.Z.	3/10	w	-	-	-	+30%	DB

Tab. 1 Fortsetzung

Fall Nr.	Name	Alter Jahr/Mon.	Ge-schlecht	PAD (mm Hg)	Angio-graphie	Shunt re-li	li-re	Diagnose
52	M.Z.	3/4	m	20/10	+	-	-	VSD, Aorteninsuffizienz, infund. Pulmonalstenose
53	M.L.	3/3	m	-	+	+40%	-	F ₄
54	J.S.	3/2	m	27/7	+	-	-	Transpos. d. gr. Art., single ventricule, gemeinsamer Vorhof ?
55	J.H.	3/3	m	15/8	+	+	-	F ₄
56	E.R.	3/2	w	18/12	-	-	+30%	DB
57	H.F.	2/9	w	35/5	+	-	-	V. a. MS + MI + AS
58	U.P.	2/9	m	25/17	-	-	+40%	DB
59	M.H.	2/3	w	37/16	-	-	+50%	DB
60	S.M.	2/0	w	35/8	+	-	+60%	VSD
61	H.V.	1/9	m	50/20	+	-	-	kleiner VSD, ger. infund. Stenose, partielle Lungenvenenfehlmündung
62	J.M.	1/4	w	12/5	+	+	-	F ₅ , hochgr. infund. Stenose, re-li-Shunt auf Vorhof+Ventr.ebene hochgrad.
63	G.H.	0/11	m	33/13	+	-	+30%	VSD
64	A.M.	0/10	w	33/17	+	-	+25%	DB
65	R.S.	0/6	m	80/38	+	-	+	VSD

Tab. 1: Zusammenstellung einiger Daten aller 65 Fälle. Die Prozentzahlen geben den Shunt in Prozent des Kleinkreislaufvolumens an.

PAD = pulmonal-arterieller Druck (systolisch/diastolisch)

DB = offener Ductus arteriosus Botalli

AS = Aortenstenose

VSD = Ventrikelseptumdefekt

PS = Pulmonalstenose, PI = Pulmonalinsuffizienz

F₄ = Fallot'sche TetralogieF₅ = Fallot'sche Pentalogie

ASD = Vorhofseptumdefekt

w = weiblich, m = männlich

palliative oder korrigierende Operation durchgeführt worden (zum Beispiel Bändelung, Verschuß eines Ventrikelseptumdefektes oder Korrektur einer Transposition der großen Gefäße).

In Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten des gesamten Patientengutes (S. 4 - 6) dargestellt.

Einen Tag, spätestens jedoch 3 Stunden vor der Injektion der radioaktiven Substanz bekamen die Patienten zur Plummerung der Schilddrüse 2,5 ml Lugol'sche Lösung. Für die Szintigrafie wurde eine mit ^{131}I radioaktiv markierte Albumin-Suspension (RAMA) verwendet, die nach dem von Taplin et al. angegebenen Verfahren (63) hergestellt war, in einer Dosierung von $1,5 \mu\text{Ci/kg}$ Körpergewicht, mindestens jedoch $15 \mu\text{Ci}$ pro Kind. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, erfolgte die i.v.-Injektion ausschließlich am aufrecht sitzenden Patienten, da bei unterschiedlicher Körperhaltung hypostatische Einflüsse hätten berücksichtigt werden müssen (13,15,27,40,66,75,78). Diese Position wurde nach der Injektion eine Minute beibehalten. Anschließend wurde in Rückenlage der Patienten das Szintigramm angefertigt, wobei jeweils fotografische- und Farbbregistrierung vorgenommen wurde. Zur Verfügung stand ein Picker Nuclear Magna Scanner (Detektor- und Kristallgröße 5 Zoll, Feinfokus, maximale Energie 400 KeV, Auflösung 7mm, relative Empfindlichkeit 1,5). Die Fokusebene lag stets in Thoraxmitte. An dem Impulsverstärker war ein Anschluß für zwei Zähler angebracht, von denen jeder die Impulse über jeweils einem Lungenflügel zählte. Deshalb war es erforderlich, die Patienten so zu lagern, daß die Umschaltung vom rechten auf den linken Zähler genau über Thorax-Mitte (= Sternum) erfolgte. Für jede Zeile des senkrecht zur Sternum-Achse fahrenden Kollimators wurden rechts und links die bis zum Ende der Aufnahme gezählten Impulse aufgezeichnet.

Um die erhaltenen Zahlen auszuwerten, wurde folgendermaßen vorgegangen: Die auf dem Röntgenbild sichtbaren Lungengrenzen wurden

auf das Szintigramm projiziert und dieses durch eine senkrechte (mediale) und eine waagrechte Linie in vier gleich große Quadranten geteilt. Die laterale und craniale Begrenzung dieser Felder war durch die auf dem Röntgenbild sichtbaren Grenzen bestimmt, die Mittelsenkrechte durch das Sternum. Die caudale Horizontale wurde durch eine waagrechte Linie in Höhe der Mitte der rechten Zwerchfellkuppe gebildet. In der Mitte zwischen oberer und unterer Begrenzung wurde eine weitere horizontale Parallele gezeichnet. Auf diese Weise erhält man vier gleich große Quadranten.

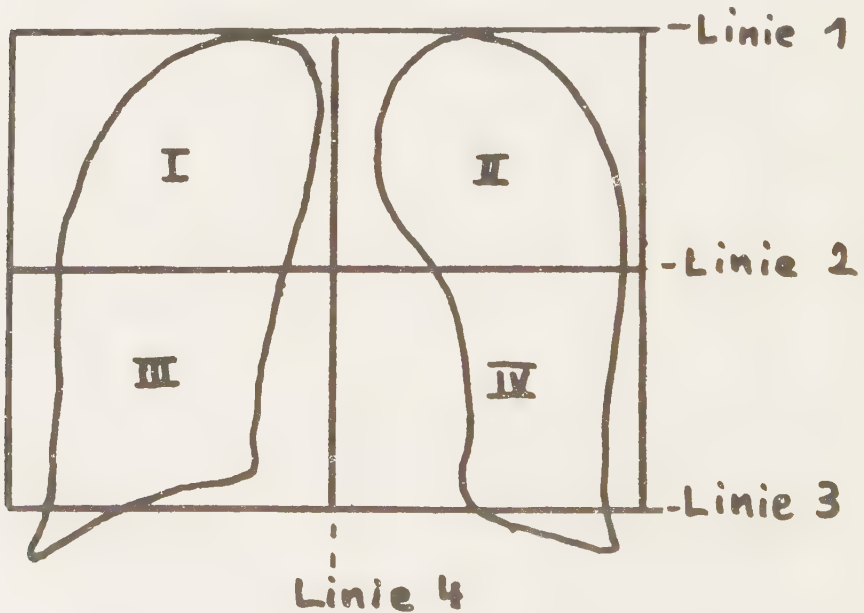


Abb. 1: Aufteilung des Lungenszintigramms in vier Quadranten
(I - IV)
Linie 1 - waagrechte Begrenzung in Höhe Lungenspitze
Linie 2 - Mittelparallele zwischen Linie 1 und 3
Linie 3 - Horizontale in Höhe der Mitte der rechten Zwerchfellkuppel
Linie 4 - Mittelsenkrechte

Für jeden Quadranten werden die Impulssummen ermittelt und daraus folgende Quotienten gebildet:

$$Q_{1,2} = \frac{\text{Impulse I}}{\text{Impulse II}}$$

$$Q_{3,4} = \frac{\text{Impulse III}}{\text{Impulse IV}}$$

$$Q_{1,3} = \frac{\text{Impulse I}}{\text{Impulse III}}$$

$$Q_{2,4} = \frac{\text{Impulse II}}{\text{Impulse IV}}$$

$$Q_{r,1} = \frac{\text{Impulse (I + III)}}{\text{Impulse (II+IV)}}$$

$$Q_{o,u} = \frac{\text{Impulse (I + II)}}{\text{Impulse (III+IV)}}$$

Als weitere Information wurde bei jedem Patienten das Aktivitätsmaximum über der Leber und über der Lunge gemessen. Somit ließ sich zusätzlich folgender Quotient ermitteln:

$$Q_L = \frac{\text{Impulsmaximum Leber}}{\text{Impulsmaximum Lunge}}$$

Bei keiner der 65 Untersuchungen war während der Szintigrafie mit injiziertem ^{131}J RAMA oder als deren Folge irgendeine Komplikation aufgetreten.

Zur Statistik

Die Normalfälle (Definition S. 25) wurden in dieser Arbeit mit den jeweiligen Gruppen der einzelnen Herzfehler verglichen, wozu der Student-t-Test angewandt wurde mit einem vorgegebenen Signifikanzniveau von 0,05 (entsprechend einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %).

Die lineare Abhängigkeit zweier Merkmale desselben Kollektivs wurde durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten r, wiederum auf einem Signifikanzniveau von 5 %, nachgewiesen.

Für beide Berechnungsarten gilt als Voraussetzung, daß die jeweiligen Daten normal verteilt sind. Dies konnte für das Gesamtkollektiv nachgewiesen werden. Für die Berechnungen wurden die unten angeführten Standardwerke benutzt (6,9,31).

Irrtumswahrscheinlichkeiten, welche die vorgegebene Signifikanzschwelle erreichen oder unterschreiten, werden im Folgenden mit

*) gekennzeichnet.

Ergebnisse

In Tabelle 2 werden die ermittelten Quotienten und dazugehörigen Mittelwerte angeführt. (S. 11,12)

A Gesamtkollektiv

Für das Gesamtkollektiv von 65 Fällen ergeben sich grafisch die in Abbildung 2 dargestellten Kurven. Dabei werden die Prozentzahlen der Fälle, die in einem bestimmten Bereich liegen (zum Beispiel bei $Q_{1,2}$: 13 Fälle, entsprechend 20 %, liegen im Bereich zwischen 1,15 und 1,24) als Säulen dargestellt. Sie liegen angenähert auf einer Glockenkurve. Durch Addition der einzelnen Prozentwerte wird eine typische sigmoide (S-) Kurve erhalten, die der Integralkurve einer Normalverteilung entspricht. Somit ist der grafische Nachweis der Normalverteilung erbracht.

Die rechte Lunge zeigt überwiegend eine höhere Aktivität als die linke ($Q_{F,1} = 1,19$), und zwar sowohl geringgradig in den Oberfeldern ($Q_{1,2} = 1,09$), wie auch deutlicher in den Unterfeldern ($Q_{3,4} = 1,29$). Dieses wird dadurch verständlich, daß im linken Unterfeld, dem 4. Quadranten, das Herz auf Kosten von Lungengewebe einen gewissen, bei jedem Fall verschiedenen großen Raum einnimmt.

Die Perfusion in den Oberfeldern ist geringer als die in den Unterfeldern ($Q_{O,U} = 0,7$), wiederum sowohl für die rechte wie auch für die linke Lunge, wobei diese in ihrem Oberfeld relativ noch etwas mehr Aktivität aufweist ($Q_{2,4} = 0,8$) als die rechte ($Q_{1,3} = 0,66$).

Fall Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{o,u}$	Q_L
1	0,77	0,80	0,79	0,94	0,99	0,97	0,35
2	2,34	1,60	1,92	1,11	0,76	0,97	0,24
3	1,57	2,40	1,94	0,80	1,22	0,92	0,08
4	1,18	1,50	1,32	0,87	1,12	0,97	0,23
5	0,70	0,69	0,70	0,42	0,41	0,42	0,10
6	1,09	1,51	1,34	0,45	0,63	0,52	0,05
7	0,89	1,13	1,01	0,85	1,08	0,95	0,04
8	0,94	1,26	1,11	0,66	0,88	0,75	0,45
9	1,00	1,81	1,27	1,05	1,92	1,36	0,08
10	1,02	1,67	1,30	0,80	1,31	0,99	0,04
11	0,74	1,11	0,94	0,62	0,93	0,77	0,37
12	0,77	1,04	0,91	0,64	0,86	0,75	0,09
13	1,23	1,38	1,34	0,36	0,40	0,37	0,10
14	1,12	1,38	1,26	0,80	0,88	0,78	0,03
15	1,18	1,22	1,20	0,60	0,62	0,61	0,10
16	1,02	1,14	1,10	0,60	0,67	0,63	0,08
17	1,02	1,31	1,13	0,59	0,76	0,67	0,19
18	1,28	1,29	1,23	0,54	0,55	0,55	0,10
19	0,92	1,33	1,19	0,36	0,52	0,43	0,08
20	0,87	0,97	0,94	0,49	0,55	0,52	0,05
21	1,06	1,41	1,27	0,50	0,66	0,57	0,05
22	1,02	1,14	1,09	0,75	0,83	0,79	0,07
23	1,66	1,46	1,52	0,57	0,50	0,54	0,13
24	0,89	1,17	1,10	0,28	0,38	0,33	0,32
25	1,17	1,40	1,32	0,46	0,54	0,49	0,20
26	1,04	0,98	1,00	0,73	0,69	0,71	0,20
27	1,00	1,86	1,96	1,14	2,12	0,84	0,12
28	0,86	1,07	1,03	0,42	0,52	0,47	0,20
29	1,03	1,06	1,05	0,74	0,77	0,76	0,10
30	1,14	1,17	1,16	0,79	0,82	0,81	0,05
31	1,26	1,57	1,45	0,50	0,62	0,54	0,09
32	1,13	1,41	1,27	0,78	0,67	0,86	0,06
33	1,16	1,46	1,31	0,81	1,02	0,50	0,08
34	1,06	1,04	1,05	0,78	0,76	0,77	0,24
35	0,91	1,13	1,02	0,76	0,94	0,85	0,13
36	1,09	2,48	1,03	0,65	1,48	0,89	0,13
37	1,24	1,26	1,25	0,72	0,73	0,73	0,10
38	0,67	0,77	0,77	0,70	0,81	0,76	0,07
39	1,19	1,38	1,28	0,87	1,01	0,93	0,16
40	0,88	1,04	0,98	0,57	0,67	0,62	0,15

Tab. 2: erster Teil, Fortsetzung nächste Seite

Tab. 2 Fortsetzung

Fall Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$	Q_L
41	0,91	1,34	1,24	0,22	0,33	0,27	0,10
42	1,37	1,74	1,52	1,04	1,32	1,14	0,11
43	0,71	0,76	0,75	0,42	0,45	0,43	0,31
44	1,24	1,23	1,23	0,88	0,87	0,86	0,20
45	1,01	1,07	1,04	0,47	0,50	0,48	0,10
46	1,34	1,38	0,90	1,01	1,04	1,03	0,30
47	1,20	1,36	1,30	0,52	0,60	0,55	0,14
48	1,40	1,56	1,48	0,93	1,03	0,97	0,15
49	1,20	0,77	0,91	0,74	0,47	0,59	0,17
50	1,06	1,22	1,15	0,73	0,84	0,78	0,20
51	1,00	1,17	1,10	0,57	0,67	0,62	0,08
52	0,76	1,00	0,89	0,58	0,77	0,68	0,10
53	1,33	1,60	1,52	0,37	0,44	0,40	0,33
54	1,15	1,53	1,34	0,73	0,97	0,82	0,46
55	0,89	1,23	1,11	0,37	0,51	0,43	0,15
56	0,92	1,03	1,00	0,39	0,44	0,42	0,05
57	0,97	1,15	1,09	0,40	0,97	0,43	0,20
58	0,99	1,25	1,13	0,69	0,87	0,77	0,38
59	1,32	1,51	1,44	0,51	0,58	0,54	0,21
60	0,96	1,00	0,98	0,68	0,71	0,70	0,10
61	1,01	1,38	1,24	0,46	0,64	0,54	0,13
62	1,20	1,15	1,17	0,71	0,68	0,70	0,44
63	1,20	1,23	1,22	0,79	0,81	0,80	0,10
64	0,95	0,84	0,88	0,61	0,54	0,58	0,07
65	1,79	1,39	1,60	1,04	0,81	0,94	0,15

n = 65

$\bar{x}$	1,09	1,29	1,19	0,66	0,80	0,70
$s_{\bar{x}}$	0,033	0,041	0,032	0,026	0,041	0,027

Tab. 2: Quotientenermittlung bei allen 65 Fällen nach Aufteilung der Lunge in 4 Quadranten.

 $\bar{x}$ = Mittelwert der einzelnen Quotienten $s_{\bar{x}}$ = Standardabweichung des Mittelwertes Q_L = Quotient aus Impulsmaximum der Leber zu Impulsmaximum der Lunge

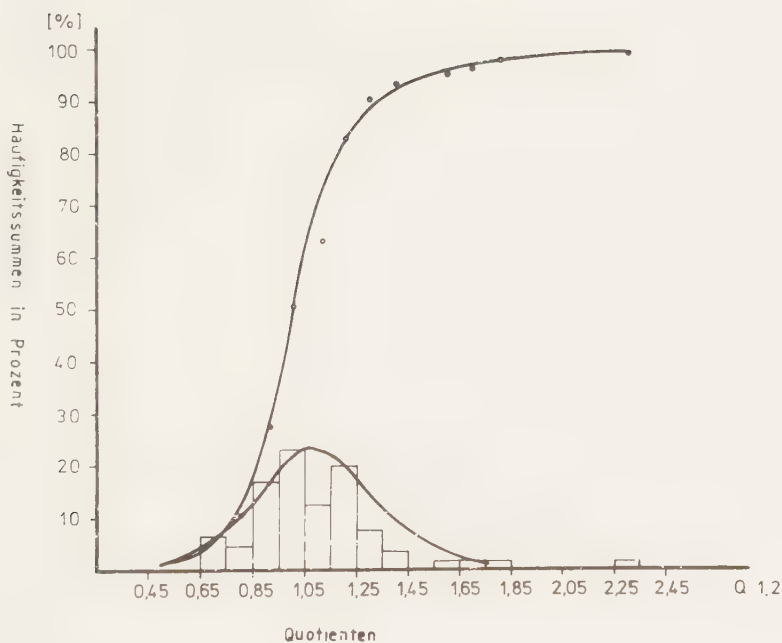


Abb. 2 a: Häufigkeitsverteilung und Summenprozentkurve aller 65 Fälle für den Quotienten $Q_{1,2}$. Die dargestellten Kurven entsprechen einer Normalverteilung.

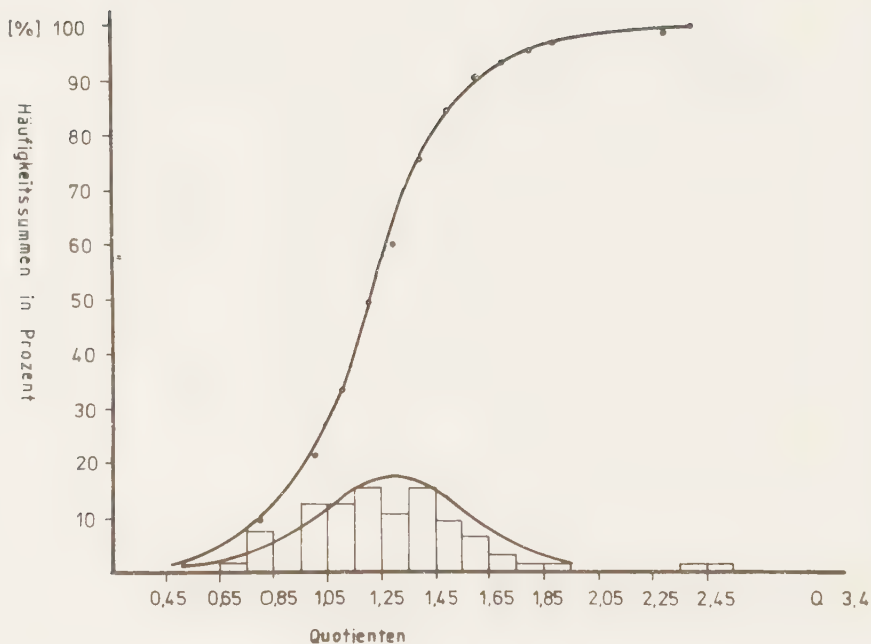


Abb. 2 b: Häufigkeitsverteilung und Summenprozentkurve aller 65 Fälle für den Quotienten $Q_{3/4}$. Die dargestellten Kurven entsprechen einer Normalverteilung.

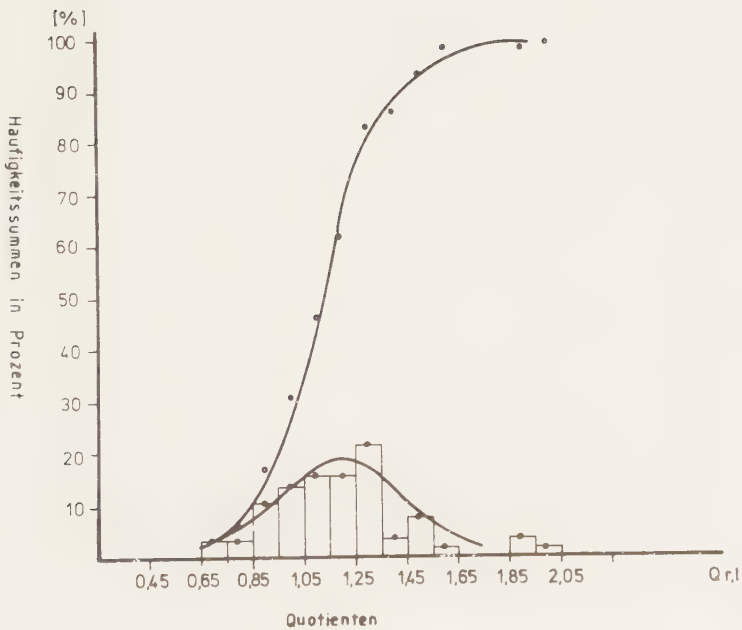


Abb. 2 c: Häufigkeitsverteilung und Summenprozentkurve aller 65 Fälle für den Quotienten $Q_{T,1}$. Die dargestellten Kurven entsprechen einer Normalverteilung.

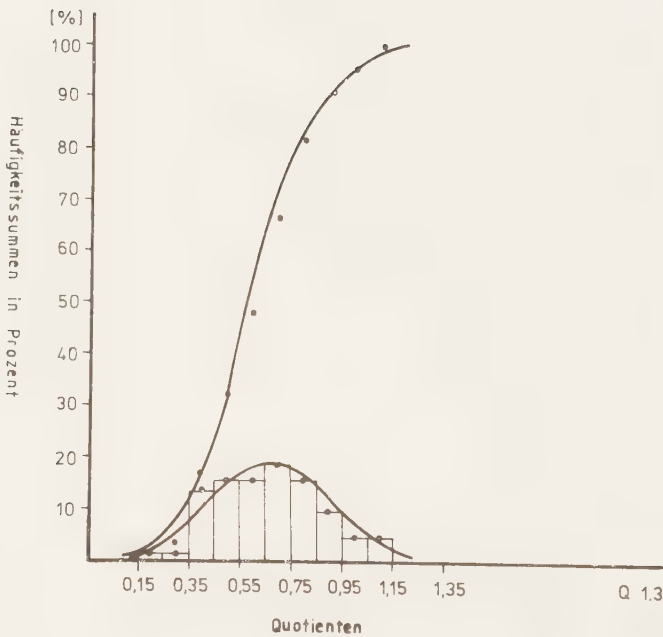


Abb. 2 d: Häufigkeitsverteilung und Summenprozentkurve aller 65 Fälle für den Quotienten $Q_{1,3}$. Die dargestellten Kurven entsprechen einer Normalverteilung.

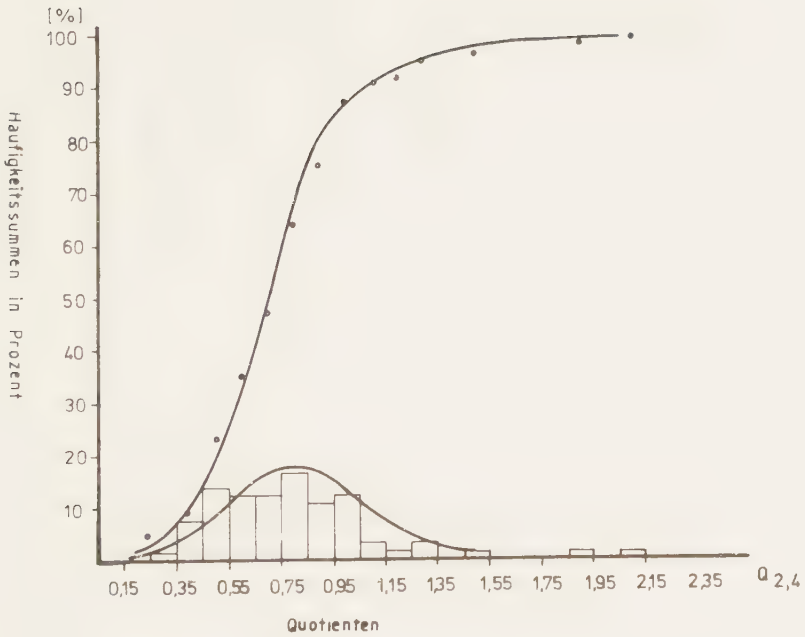


Abb. 2 e: Häufigkeitsverteilung und Summenprozentkurve aller 65 Fälle für den Quotienten $Q_{2,4}$. Die dargestellten Kurven entsprechen einer Normalverteilung.

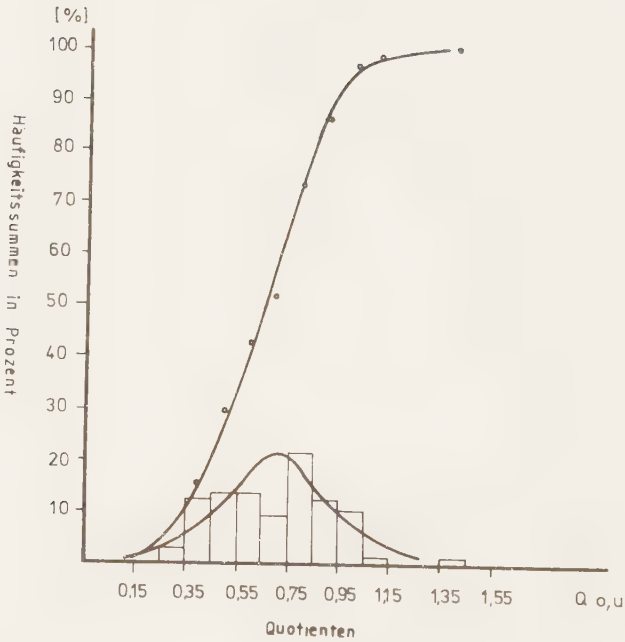


Abb. 2 f: Häufigkeitsverteilung und Summenprozentkurve aller 65 Fälle für den Quotienten $Q_{0,u}$. Die dargestellten Kurven entsprechen einer Normalverteilung.

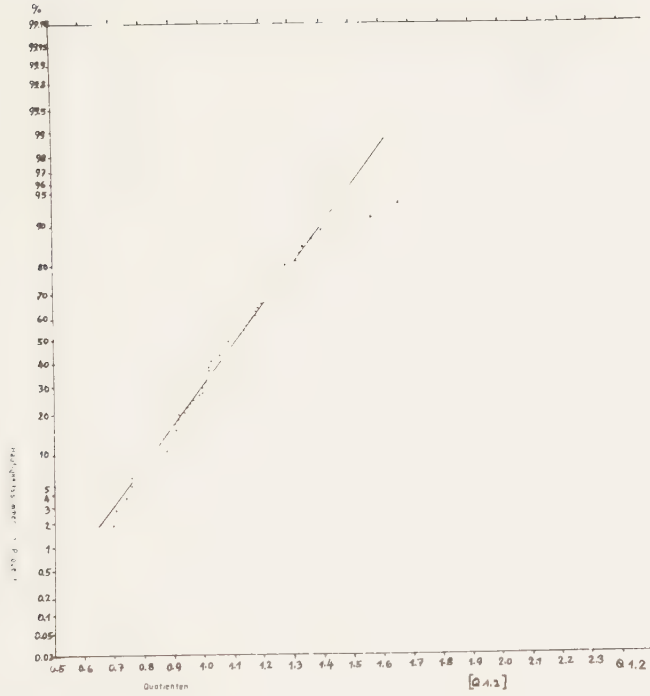


Abb. 3 a: Summenprozentkurve für den Quotienten $Q_{1,2}$, dargestellt auf dem Wahrscheinlichkeitspapier. Sie erscheint nahezu als eine Gerade.

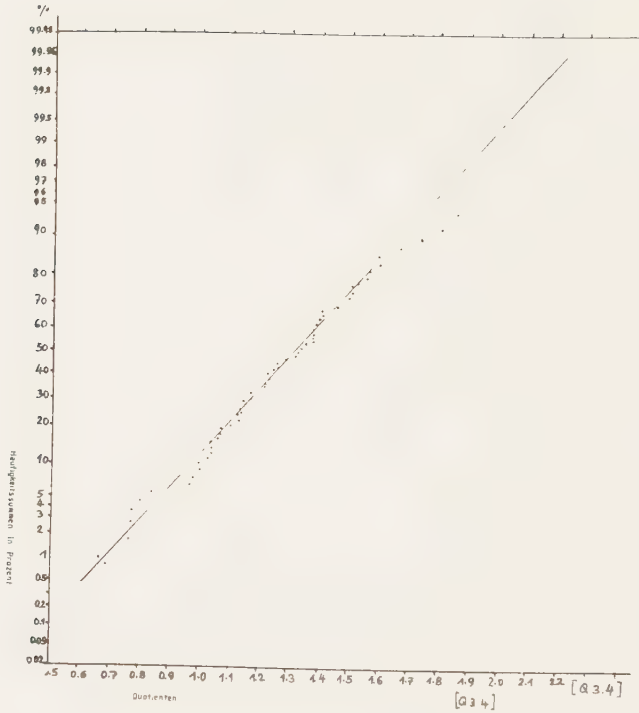


Abb. 3 b: Summenprozentkurve für den Quotienten $Q_{3/4}$, dargestellt auf dem Wahrscheinlichkeitspapier. Sie erscheint nahezu als eine Gerade.



Abb. 3 c: Summenprozentkurve für den Quotienten $Q_{r,1}$, dargestellt auf dem Wahrscheinlichkeitspapier. Sie erscheint nahezu als eine Gerade.

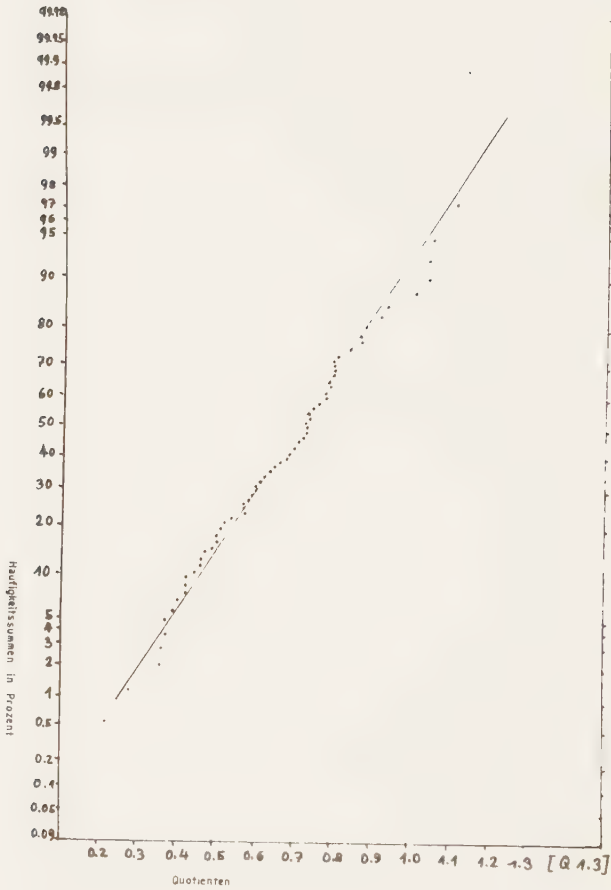


Abb. 3 d: Summenprozentkurve für den Quotienten $Q_{1,3}$, dargestellt auf dem Wahrscheinlichkeitspapier. Sie erscheint nahezu als eine Gerade.

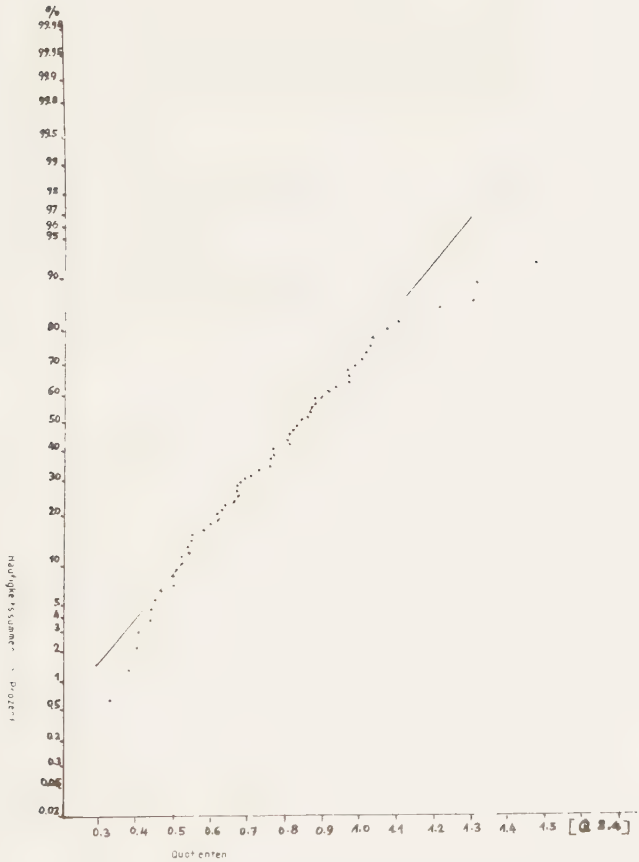


Abb. 3 e: Summenprozentkurve für den Quotienten $Q_{2,4}$, dargestellt auf dem Wahrscheinlichkeitspapier. Sie erscheint nahezu als eine Gerade.



Abb. 3 f: Summenprozentkurve für den Quotienten $Q_{0,u}$, dargestellt auf dem Wahrscheinlichkeitspapier. Sie erscheint nahezu als eine Gerade.

B Normalfälle

Aufgrund der besonders bei Kindern strengen Indikationsstellung zur Lungenszintigrafie wurde auf die Bearbeitung von Normalfällen (Nf) verzichtet. Statt dessen wurden diejenigen Kinder, die aufgrund der Beurteilung von Herzkatheteruntersuchung und Angiocardiografie keine oder nur unerhebliche hämodynamische Veränderungen aufwiesen, als Normalfälle zum Vergleich herangezogen. Diese Fälle sind in Tabelle 3 zusammengetragen.

Im Vergleich mit der Verteilung des Gesamtkollektivs fällt auf, daß die Normalfälle weniger breit gestreut sind. Dies ist allein aufgrund der geringen Fallzahl verständlich. Die Mittelwerte der Quotienten der Normalfälle weichen von den entsprechenden Werten des Gesamtkollektivs (Tabelle 2) nicht ab.

Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$	Q_L	PAD
4	1,18	1,50	1,32	0,87	1,12	0,97	0,23	25/10
10	1,02	1,67	1,30	0,80	1,31	0,99	0,04	-
12	0,77	1,04	0,91	0,64	0,86	0,75	0,09	25/11
14	1,12	1,38	1,26	0,80	0,88	0,78	0,03	33/10
15	1,18	1,22	1,20	0,60	0,62	0,61	0,10	22,12
16	1,02	1,14	1,10	0,60	0,67	0,64	0,08	28,12
17	1,02	1,32	1,19	0,59	0,76	0,67	0,19	40/27
18	1,28	1,29	1,29	0,54	0,55	0,55	0,10	20/10
25	1,17	1,40	1,32	0,46	0,54	0,49	0,20	32/10
30	1,14	1,17	1,16	0,79	0,82	0,81	0,05	32/10
35	0,91	1,13	1,02	0,76	0,94	0,85	0,13	24/12

n = 11

$\bar{x}$	1,07	1,29	1,19	0,67	0,82	0,74	0,11
$s_{\bar{x}}$	0,04	0,06	0,04	0,04	0,07	0,05	

Tab. 3: Zusammenstellung der Quotienten der Normalfälle, das heißt derjenigen Kinder, die aufgrund der Herzkatheteruntersuchung und Angiocardiografie keine oder nur unerhebliche hämodynamische Veränderungen aufweisen.

Diese Gruppe von Fällen als "normal" zu bezeichnen ist nicht unproblematisch: Bei Fall 17 besteht ein pulmonal-arterieller Druck (PAD) von 40/27 mmHg, also deutlich hypertone Werte, in den Fällen 14, 25 und 30 gering erhöhte Druckwerte. Diese leichte bis mittelschwere Erhöhung des pulmonal-arteriellen Druckes hat keinen Einfluß auf die Beantwortung der eingangs formulierten Fragestellung dieser Arbeit. Da die pulmonal-arteriellen Druckwerte der im Folgenden aufgeführten Herzfehlergruppen laut Angaben in der Literatur (4) primär nicht erhöht sind, wird die Diagnostizierbarkeit eines Herzfehlers nicht durch gering veränderte Druckverhältnisse in der Art. pulmonalis beeinflusst. Ferner ist ein Rechts-Links-Shunt oder Links-Rechts-Shunt als Ursache für die Erhöhung des pulmonal-arteriellen Druckes ausgeschlossen worden.

Die für dieses Normalkollektiv errechneten Mittelwerte und Standardabweichungen zeigen gegenüber einem solchen, bei dem die Fälle mit einem PAD über 28 mmHg (systolisch) nicht mit berücksichtigt werden, nur unerhebliche Abweichungen, wie folgender Vergleich zeigt:

		$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$
NF	$\bar{x}$	1,08	1,26	1,18	0,67	0,78	0,71
n = 10	$s_{\bar{x}}$	0,048	0,045	0,043	0,042	0,059	0,047
NF	$\bar{x}'$	1,06	1,22	1,14	0,67	0,79	0,73
n = 6	$s_{\bar{x}'}$	0,079	0,066	0,065	0,050	0,089	0,065
PAD < 28 mmHg syst.							

Tab. 4: Gegenüberstellung der Normalfälle (NF) entsprechend S. 25, Tab. 3 (wobei der Fall 10 wegen fehlendem PAD-Wert ausgelassen wurde) und der Fälle aus der Normalgruppe mit einem PAD < 28 mmHg (systolisch).

Man erkennt eindeutig, daß der Vergleich dieser Gruppen für die Verteilung oben zu unten nahezu identische Mittelwerte ergibt und daß bei der Rechts-Links-Verteilung nur minimale Abweichungen auftreten. Somit kann man diese Gruppe von 11 Fällen für die zu klärenden Fragen als Normalkollektiv ansehen.

Zur Beantwortung der Frage, ob eine pulmonale Hypertonie durch die hier beschriebene Methode erkannt werden kann, eignen sich obige Normalfälle nicht als Vergleichskollektiv. Es werden bei dieser Ermittlung (S.46) alle Fälle mit normalem pulmonal-arteriellen Druck mit denen mit erhöhten Druckwerten verglichen.

Als echter Normalfall sei hier Fall 15 angeführt: der klinisch bestehende Verdacht auf kleinen Ventrikelseptumdefekt (VSD) konnte durch Herzkatheteruntersuchung und Angiocardiografie nicht bestätigt werden, da weder ein O_2 -Sprung noch ein Druckgradient vorhanden waren.

Man erkennt rechts und links innerhalb der Pleuragrenzen Aktivitätsbereiche, welche die Pleurakuppen, vor allem links, nur sehr zart ausfüllen. Die Mediastinalbegrenzung wird deutlicher nachgezeichnet als die Thoraxbegrenzung. Beidseits große, zentral lokalisierte Aktivitätskerne. Keine extrapulmonale Aktivität.

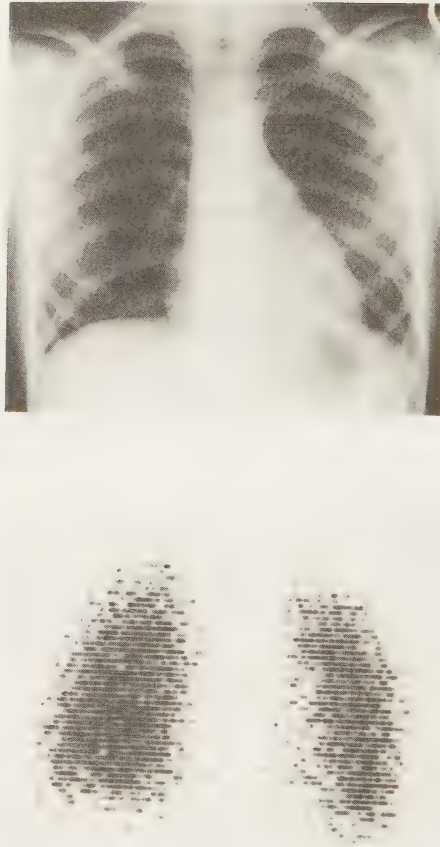


Abb. 4: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm eines herz- und lungengesunden 11-jährigen Kindes (Fall 15). Die rechte Lunge zeigt gering stärkere Aktivitätsbereiche als die linke. Deutliche Abgrenzung des Mediastinalbereiches. Keine extrapulmonale Aktivität.

C. Patnologische Fälle

1. Pulmonalstenose

10 Patienten wiesen eine Pulmonalstenose (PS) auf. Es handelte sich um valvuläre und/oder infundibuläre Stenosen. Diese Fälle sind in Tabelle 5 aufgeführt. Die erhaltenen Mittelwerte der Quotienten wurden mit den Normalfällen verglichen. Dazu wurde eine Signifikanzbestimmung durchgeführt.

Nr.	$\bar{Q}_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$
5	0,70	0,69	0,70	0,42	0,41	0,42
6	1,09	1,51	1,35	0,45	0,63	0,52
7	0,89	1,13	1,01	0,85	1,08	0,95
20	0,87	0,97	0,94	0,49	0,55	0,52
27	1,00	1,86	1,96	1,14	2,12	0,84
31	1,26	1,57	1,45	0,50	0,62	0,54
34	1,06	1,04	1,05	0,78	0,76	0,77
38	0,67	0,77	0,77	0,70	0,81	0,76
52	0,76	1,00	0,89	0,58	0,77	0,68
61	1,01	1,38	1,24	0,46	0,63	0,54
$n = 10$						
$\bar{x}$	0,93	1,19	1,14	0,64	0,84	0,65
$s_{\bar{x}}$	0,059	0,119	0,119	0,073	0,153	0,054
t	1,962	0,821	0,431	0,497	0,082	1,143
$2p$	<0,1	<0,5	<0,70	<0,7	<0,95	<0,30

Tab.5: Gruppe der Fälle mit Pulmonalstenose. Vergleich mit den Normalfällen. Es besteht kein signifikanter Unterschied.

Es gilt für 19 Freiheitsgrade eine Signifikanzschwelle von $t=2,093$. Dieser Wert wird von keinem der 6 Quotienten überschritten, demnach weisen die Quotienten der Fälle mit Pulmonalstenose keine signifikanten Unterschiede auf gegenüber denen der Normalfälle.

Es fällt jedoch auf, daß die Aktivitätsverteilung in den beiden oberen Lungenhälften ($Q_{1,2}$) deutlich zugunsten der linken Lunge verschoben ist. Deutlich ist diese Veränderung der Rechts-Links-Verteilung zu erkennen bei Fall 38. Dagegen sind die Quotienten aus dem rechten oberen und unteren Quadranten ($Q_{1,3}$) sowie aus dem linken oberen und unteren Quadranten ($Q_{2,4}$) nahezu identisch denen der Normalfälle.

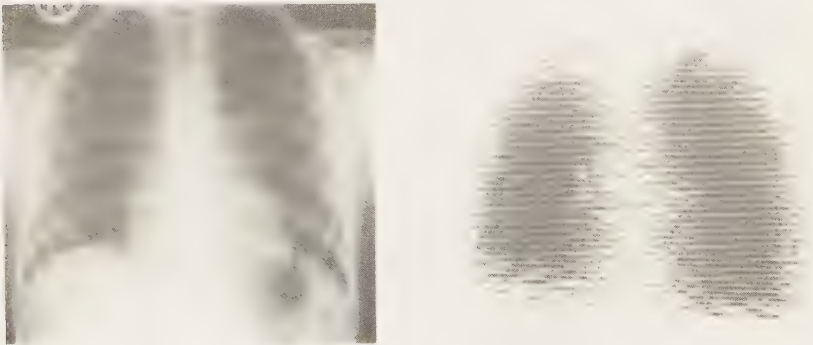


Abb.5: Lungenzintigramm und Röntgen-Thorax eines 5-jährigen Mädchens mit Pulmonalstenose (Fall 38). Beidseits große, zentral gelegene Aktivitätskerne. Betonung des linken Oberfeldes gegenüber dem rechten.

Man erkennt beidseits große, zentral gelegene Aktivitätsbereiche, die vor allem die Pleurabegrenzung scharf nachzeichnen. Die linke Pleurakuppe weist deutlich mehr Aktivität auf als die rechte. Unscharfe mediastinale Abgrenzung. Keine extrapulmonale Aktivität.

2. Ventrikelseptumdefekt (VSD)

Bei Betrachtung der Tabelle 6 erkennt man,

Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$
4	1,18	1,50	1,32	0,87	1,12	0,97
9	1,00	1,81	1,27	1,05	1,92	1,36
14	1,12	1,38	1,26	0,80	0,88	0,78
18	1,28	1,29	1,29	0,54	0,55	0,55
23	1,66	1,46	1,52	0,57	0,50	0,54
25	1,17	1,40	1,32	0,46	0,54	0,49
29	1,03	1,06	1,05	0,74	0,77	0,76
31	1,26	1,57	1,45	0,50	0,62	0,54
35	0,91	1,13	1,02	0,76	0,94	0,85
49	1,20	0,77	0,91	0,74	0,47	0,59
52	0,76	1,00	0,89	0,58	0,77	0,68
60	0,96	1,00	0,98	0,68	0,71	0,70
61	1,01	1,38	1,24	0,46	0,64	0,54
63	1,20	1,23	1,22	0,79	0,81	0,80
65	1,79	1,39	1,60	1,04	0,81	0,94

$n = 15$

$\bar{x}$	1,17	1,29	1,22	0,71	0,80	0,74
$s_{\bar{x}}$	0,069	0,068	0,056	0,049	0,092	0,059
t	1,065	0,054	0,468	0,421	0,171	0,025
$2p$	< 0,3	< 0,975	< 0,7	< 0,7	< 0,9	< 0,98

Tab.6: Gruppe der Fälle mit Ventrikelseptumdefekt. Vergleich mit den Normalfällen. Es besteht kein signifikanter Unterschied.

daß das Verhältnis aus rechter zu linker Lunge wie auch aus oberen zu unteren Quadranten, verglichen mit den Normalfällen, keine Unterschiede aufweist. Eine Ausnahme machen Fall 9 und Fall 65. Auf Fall 9 wird später eingegangen (S.45). Bei Fall 65 wird der hohe Quotient aus rechtem oberen und unteren Quadranten ($Q_{1,2}$) verständlich durch den Befund der Angiocardiografie: Deutliche Differenz der beiden Arteriae pulmonales, rechts verstärkte Schlingelung und verdickte Querschnitte bis in die Peripherie, links zunächst gleichfalls stark geschlängelter Verlauf, dann Kaliberabbruch, der oben besonders ausgeprägt ist. Im linken Unterfeld verlaufen die Gefäße ebenfalls geschlängelt, jedoch nicht so stark wie rechts.

Diesem angiocardiografischen Befund entspricht die szintigrafische Abbildung: links oben (im 2. Quadranten), wo angiocardiografisch ein Kaliberabbruch der Art. pulmonalis gesehen wurde, findet sich keine Aktivitätsdarstellung. Entsprechend dieser ungleichen Verteilung ergeben sich abweichende Quotienten. Erwartungsgemäß ist das Aktivitätsverhältnis aus rechtem oberen zu linkem oberen Quadranten ($Q_{1,2}$) extrem hoch, das Verhältnis aus den beiden unteren Quadranten ($Q_{3,4}$) auch höher als bei den Normalfällen. Auch der Quotient aus rechtem oberen zu unteren Quadranten ($Q_{1,3}$) zeigt die in der Angiocardiografie deutliche Veränderung in der rechten Lunge an: mit 1,0 befindet sich der Wert deutlich über dem Normalen ($NF\ Q_{1,3}=0,67$), was einer Verlagerung der Perfusion in den oberen rechten Quadranten gleichkommt.

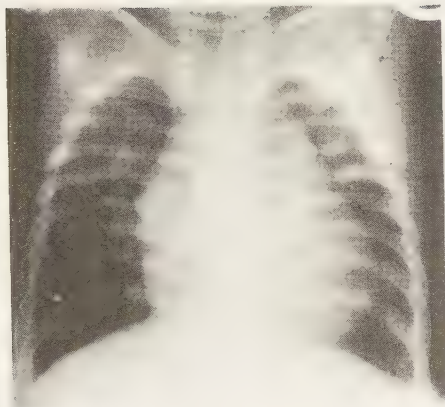


Abb.6: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm bei einem 6 Monate alten Patienten mit VSD (Fall 65). Ausgeprägte pulmonale Hypertonie. Starke Aktivitätsverminderung in der gesamten linken Lunge, rechts Betonung des apikalen Bereiches.

3. Offener Ductus arteriosus Botalli

In Tabelle 7 ist in der Rechts-Links-Verteilung keine Besonderheit oder signifikante Abweichung gegenüber den Normalfällen oder denen mit Ventrikelseptumdefekt.

Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$
3	1,57	2,40	1,94	0,80	1,22	0,92
17	1,02	1,32	1,19	0,59	0,76	0,67
28	0,86	1,07	1,00	0,42	0,52	0,47
41	0,91	1,34	1,24	0,22	0,33	0,27
44	1,24	1,22	1,23	0,88	0,87	0,88
45	1,01	1,07	1,04	0,47	0,50	0,48
47	1,20	1,36	1,30	0,52	0,60	0,55
48	1,40	1,56	1,48	0,93	1,03	0,97
49	1,20	0,77	0,91	0,74	0,47	0,59
51	1,00	1,17	1,10	0,57	0,67	0,62
56	0,92	1,03	1,00	0,39	0,44	0,42
58	0,99	1,25	1,13	0,69	0,87	0,77
59	1,32	1,51	1,44	0,51	0,58	0,54
64	0,95	0,84	0,88	0,61	0,54	0,58

n = 14

$\bar{x}$	1,11	1,28	1,20	0,60	0,67	0,63
$s_{\bar{x}}$	0,057	0,105	0,074	0,053	0,067	0,054
t	0,535	0,143	0,192	1,176	1,553	1,525
2p	<0,60	<0,90	<0,9	<0,30	<0,20	<0,20

Tab.7: Gruppe der Fälle mit offenem Ductus arteriosus Botalli; Vergleich mit den Normalfällen. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede.

In der Verteilung oben zu unten fällt auf, daß der Mittelwert des Quotienten aus Ober- und Unterfeld rechts ($Q_{1,3}$) und links ($Q_{2,4}$) wie auch der beider Ober- und Unterfelder ($Q_{0,u}$) mit 0,63 niedriger liegt als bei den Normalfällen ($NF\ Q_{0,u} = 0,74$). Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant und dürfte als Schwankung innerhalb des Normbereiches aufzufassen sein. Auffällig ist in der Rechts-Links-Verteilung lediglich das Szintigramm von Fall 3.

Es zeigt sich wieder, daß die linke Lunge weit weniger Aktivität aufweist als die rechte ($Q_{r,1} = 1,94$). Deutlicher wird dieses noch bei Betrachtung der unteren Quadranten ($Q_{3,4} = 2,4$) entsprechend der Aktivitätsverminderung im 4. Quadranten. Infolge der Herzvergrößerung ergibt sich als Quotient aus dem oberen und unteren Quadranten ($Q_{2,4}$) mit 1,2 ein deutlich erhöhter Wert.

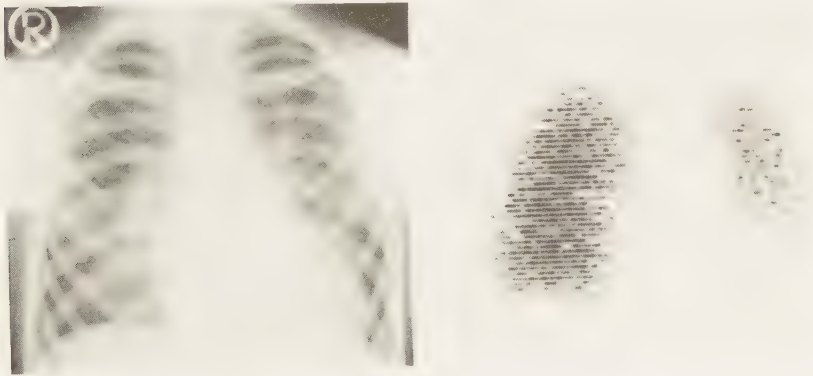


Abb.7: Lungenszintigramm und Röntgen-Thorax bei einem 8-jährigen Jungen mit DB und Links-Rechts-Shunt mit 55 % des Kleinkreislaufvolumens (Fall 3). Perfusionsverminderung der linken Lunge basal, verstärkt durch das vergrößerte Herz.

4. Links-Rechts-Shunt

Bei den meisten Fällen mit Ventrikelseptumdefekt und offenem Ductus arteriosus Botalli war ein Links-Rechts-Shunt wirksam. In Tabelle 8 werden diese Fälle aufgeführt.

Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$	PAD
3	1,57	2,40	1,94	0,80	1,22	0,92	30/20
9	1,00	1,81	1,27	1,05	1,92	1,36	80/20
23	1,66	1,46	1,52	0,57	0,50	0,54	75/45
24	0,89	1,17	1,10	0,28	0,38	0,33	12/07
28	0,86	1,07	1,00	0,42	0,52	0,47	18/10
31	1,26	1,57	1,45	0,50	0,62	0,54	40/18
34	1,06	1,04	1,05	0,78	0,76	0,77	25/10
39	1,19	1,38	1,28	0,87	1,01	0,93	90/45
44	1,24	1,23	1,23	0,88	0,87	0,88	28/08
45	1,01	1,07	1,04	0,47	0,50	0,49	25/14
46	1,34	1,38	0,90	1,01	1,04	1,03	28/08
47	1,20	1,36	1,30	0,52	0,60	0,55	30/20
48	1,40	1,56	1,48	0,93	1,03	0,97	28/12
49	1,20	0,77	0,91	0,74	0,47	0,59	-
51	1,00	1,17	1,10	0,57	0,67	0,62	-
56	0,92	1,03	1,00	0,39	0,44	0,42	18/12
58	0,99	1,25	1,13	0,69	0,87	0,77	25/17
59	1,32	1,51	1,44	0,51	0,58	0,54	37/16
60	0,96	1,00	0,98	0,68	0,71	0,70	35/08
63	1,20	1,23	1,22	0,79	0,81	0,80	33/13
64	0,95	0,84	0,88	0,61	0,54	0,58	33/17

$n = 21$

$\bar{x}$	1,15	1,30	1,20	0,67	0,77	0,71
$s_{\bar{x}}$	0,048	0,078	0,057	0,046	0,074	0,054
t	1,079	0,031	0,152	0,110	0,506	0,393
2p	<0,30	<0,98	<0,90	<0,95	<0,70	<0,70

Tab.8: Gruppe der Fälle mit einem Links-Rechts-Shunt unter Angabe des pulmonal-arteriellen Druckes (PAD in mmHg, systolisch/diastolisch). Gegenüber den Normalfällen besteht kein signifikanter Unterschied.

Bei der Betrachtung der Verhältnisse oben zu unten wie auch rechts zu links läßt sich kein signifikanter Unterschied zu den Normalfällen feststellen.

Um zu sehen, ob sich die Verteilung oben zu unten in Abhängigkeit vom Druck der Pulmonalarterie ändert, wurde obige Gruppe in zwei Kategorien unterteilt.

1. Links-Rechts-Shunt und normaler Druck der Pulmonalarterie.

2. Links-Rechts-Shunt mit Erhöhung des PAD über 30 mmHg.

Wie bereits angeführt (S.27), war in diesem Fall kein Vergleich mit den oben definierten Normalfällen möglich, sondern es wurden als solche die Fälle mit normalem Druck der A. pulmonalis gewertet, unabhängig von der Grundkrankheit.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≥ 30	< 30	≥ 30	< 30	≥ 30	< 30
n	10	9	10	9	10	9
$\bar{x}$	0,69	0,65	0,85	0,71	0,75	0,68
$s_{\bar{x}}$	0,06	0,09	0,14	0,09	0,08	0,08
t	0,384		0,835		0,581	
2p	<0,80		<0,50		<0,60	

Tab.9 a: Unterteilung der Fälle mit Links-Rechts-Shunt (s. Tab.8) und Vergleich der Fälle mit normalem PAD (syst. <30 mmHg) sowie der Fälle mit erhöhtem PAD (syst. ≥ 30 mmHg). Es besteht kein signifikanter Unterschied.

Die grafischen Darstellungen im Zusammenhang mit den statistischen Ermittlungen zeigen, daß mit erhöhtem pulmonal-arteriellen Druck keine signifikant höhere Perfusion in den Lungenoberfeldern festzustellen ist.

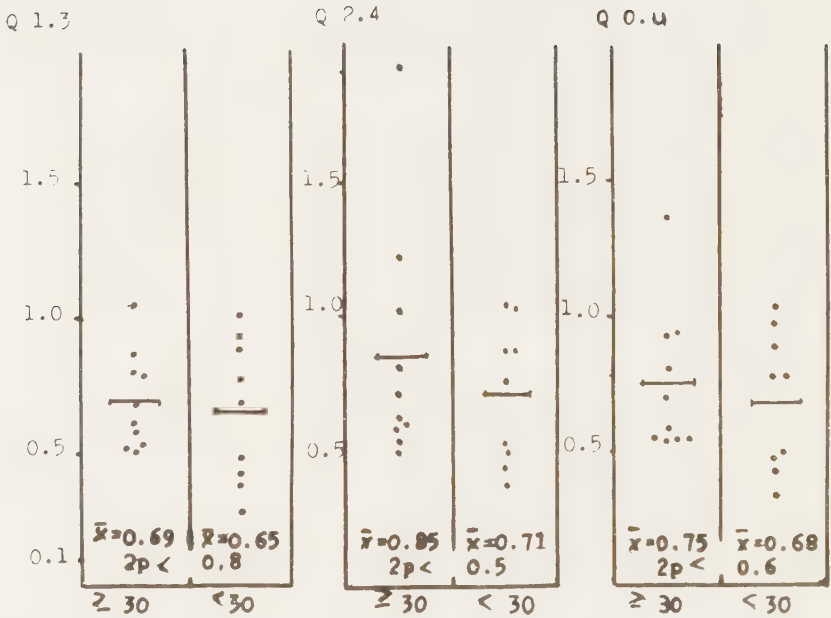


Abb.8: Grafische Darstellung der in Tab. 9 a angegebenen Werte.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,4}$	
	>20	≤ 20	>20	≤ 20	>20	≤ 20
n	11	8	11	8	11	8
$\bar{x}$	0,69	0,65	0,85	0,69	0,75	0,67
$s_{\bar{x}}$	0,05	0,10	0,12	0,10	0,03	0,10
t	0,381		0,949		0,656	
$2p$	$<0,80$		$<0,40$		$<0,60$	

Tab.9 b: Unterteilung der Fälle mit Links-Rechts-Shunt und Vergleich der Fälle mit normalem PAD (Mittelwert ≤ 20 mmHg) und erhöhtem PAD (Mittelwert > 20 mmHg). Es besteht kein signifikanter Unterschied.

Dies Ergebnis erhält man auch, wenn man eine Trennung nach pulmonal-arteriellen Mittelwerten vornimmt und entsprechende Gruppen unter und über 20 mmHg miteinander vergleicht.

Wählt man hingegen nach Betrachtung der Tabelle 8 (S. 36), als Grenze zwischen erhöhtem und normalem pulmonal-arteriellen Druck den Wert 27 mmHg systolisch (s. Tab. 9 c), so werden deutlich andere, für den Quotienten aus Oberfeld und Unterfeld rechts ($Q_{1,3}$) mit $2p < 0,025$ und für den Quotienten aus beiden Ober- und Unterfeldern ($Q_{0,u}$) mit $2p < 0,05$ signifikante Unterschiede erhalten. Besteht also ein Links-Rechts-Shunt, so kann man eindeutig unterscheiden zwischen Fällen mit normalem (< 27 mmHg syst.) und erhöhtem PAD (≥ 27 mmHg).

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≥ 27	< 27	≥ 27	< 27	≥ 27	< 27
n	13	6	13	6	13	6
$\bar{x}$	0,75	0,51	0,88	0,58	0,80	0,54
s_x	0,05	0,08	0,11	0,08	0,07	0,07
t	2,521		1,782		2,252	
2p	$< 0,025^*$		$< 0,1$		$< 0,05^*$	

Tab. 9 c: Unterteilung der Fälle mit Links-Rechts-Shunt und Vergleich der Fälle mit einem PAD ≥ 27 mmHg systolisch und einem PAD < 27 mmHg systolisch. Der Quotient aus rechtem oberen und unteren Quadranten ($Q_{1,3}$) wie der aus beiden Ober- und Unterfeldern ($Q_{0,u}$) ist gegenüber dem Vergleichskollektiv signifikant höher.

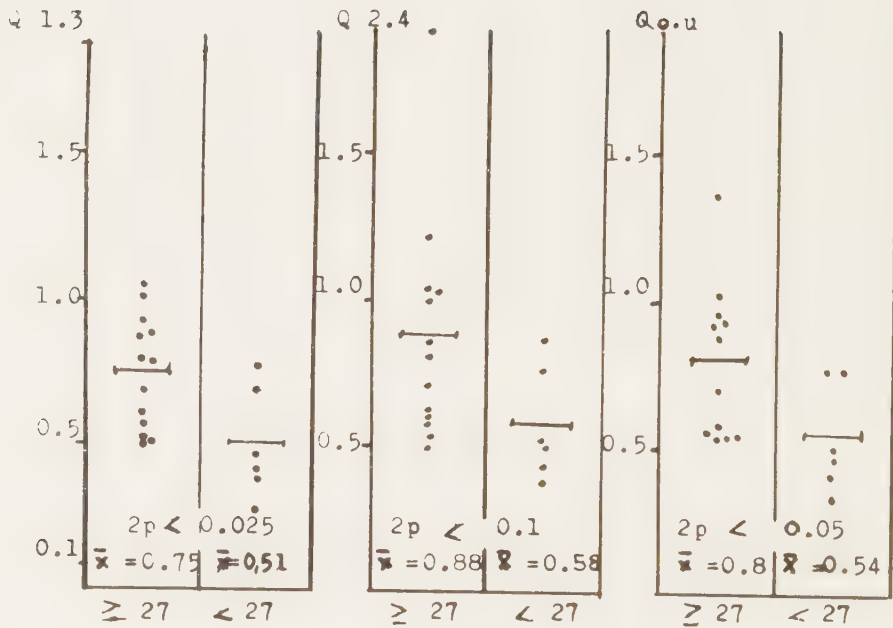


Abb. 9: Grafische Darstellung der in Tab. 9 c angeführten Werte.

Es wird weiter geprüft, ob mit dem Anstieg des pulmonal-arteriellen Druckes ein lineares Ansteigen der Perfusion in den oberen Lungenflügeln zu ermitteln ist.

	PAD $Q_{1,3}$	PAD $Q_{2,4}$	PAD $Q_{o,u}$
$\bar{x}$	36,32 0,67	36,32 0,79	36,32 0,72
$s_{\bar{x}}$	4,91 0,05	4,91 0,08	4,91 0,06
n	19	19	19
r	0,421	0,489	0,468
2α	< 0,1	< 0,05*	< 0,05*

Tab. 10: Berechnung des Korrelationskoeffizienten zur Untersuchung einer linearen Abhängigkeit zwischen PAD und Lungenperfusion anhand der Quotienten. Bei ansteigendem PAD besteht eine signifikante lineare Korrelation für die Quotienten $Q_{2,4}$ und $Q_{o,u}$.

Für den Quotienten aus dem oberen und unteren Quadranten der linken Lunge ($Q_{2,4}$) wie für den Quotienten aus beiden Ober- und Unterfeldern ($Q_{o,u}$) ist eine signifikante lineare Korrelation nachzuweisen. Man erhält also einen eindeutigen, dem pulmonal-arteriellen Druck entsprechenden Anstieg der Perfusion in den Lungenoberfeldern. In diesem Fall ist das Ergebnis bei Betrachtung des Quotienten aus rechtem Ober- und Unterfeld ($Q_{1,3}$) nicht signifikant.

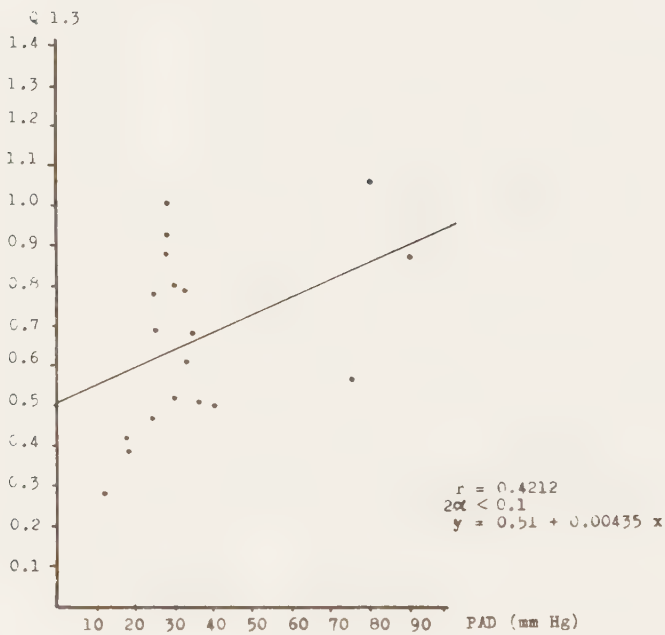


Abb. 10 a Für die rechte Lunge besteht kein dem PAD entsprechender Anstieg der Perfusion in die Lungenoberfelder.

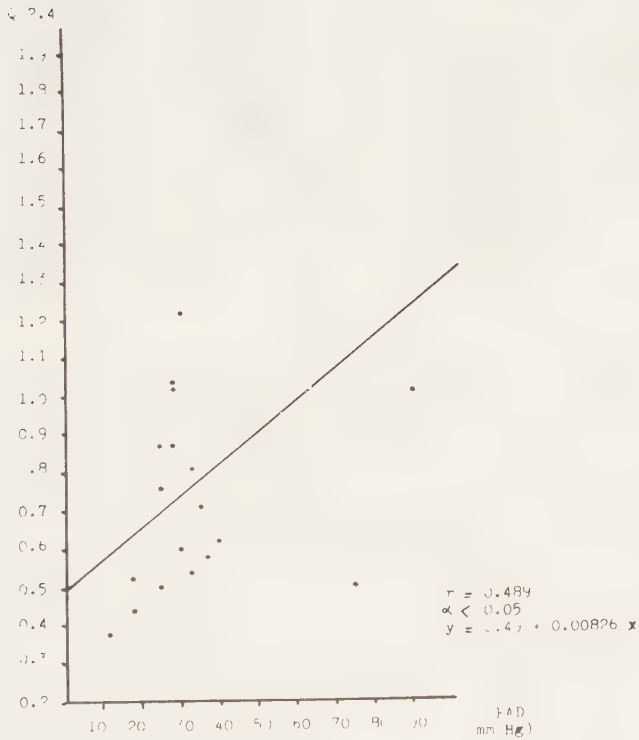


Abb. 10 b Für die linke Lunge besteht ein dem PAD entsprechender Anstieg der Perfusion in den Lungenoberfeldern.

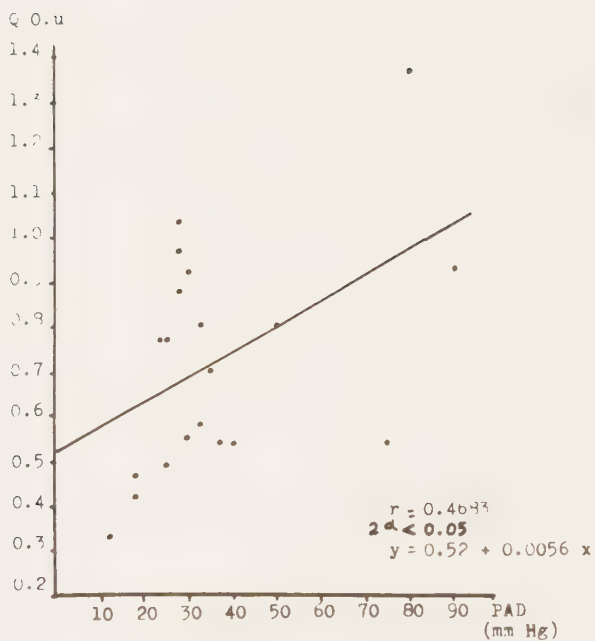


Abb. 10 c Für beide Lungen besteht ein dem PAD entsprechender Anstieg der Perfusion in den Lungenoberfeldern.

Ein typisches Beispiel dafür, daß mit erhöhtem PAD eine Perfusionsumverteilung in die oberen Lungenfelder erfolgt, ist Fall 9, der auf S.32 bereits erwähnt wurde.

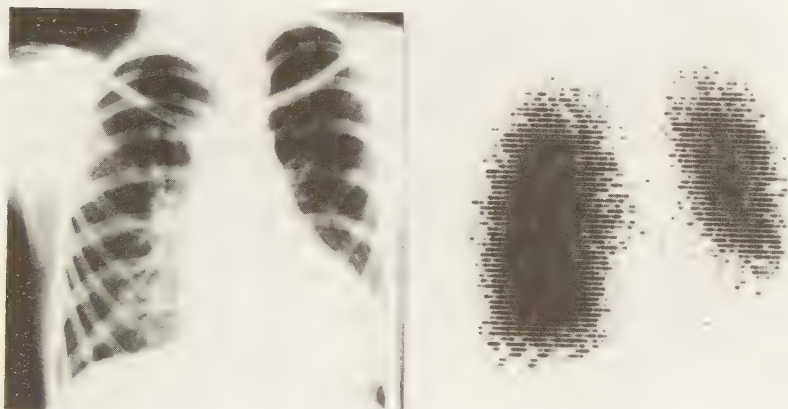


Abb. 11: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm eines Patienten mit VSD sowie ausgeprägter pulmonaler Hypertonie (Fall 9). Die große Herzsilhouette erscheint im Röntgenbild und Szintigramm, hier als deutliche Aktivitätsminderung. Umverteilung der Perfusion in die Lungenoberfelder.

Man erkennt rechts einen größeren Aktivitätskern als links sowie im Bereich des 4. Quadranten nahezu keine Aktivität, entsprechend dem großen Herzschatten im Röntgenbild. Betonung beider Lungenoberfelder. - Beides wird durch die Quotienten zahlenmäßig bestätigt.

5. Pulmonale Hypertonie

Während im Vorangegangenen die pulmonale Hypertonie bei den Fällen mit Links-Rechts-Shunt behandelt worden ist, soll im folgenden eingegangen werden allgemein auf den pulmonalen Hochdruck. Durch zahlreiche Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß der PAD beim Neugeborenen (normaler Mitteldruck: bei der Geburt 60 mmHg) in den ersten Tagen schnell abfällt und in ein bis zwei Wochen die Normalwerte des Erwachsenen erreicht (69). Diese liegen systolisch bei 11 bis 29 mmHg (4,44,69) und diastolisch bei 4 - 13 mmHg. Gemäß dieser Werte werden sämtliche Fälle mit einem PAD ≥ 30 denen ≤ 29 mmHg gegenübergestellt, um eventuell vorhandene Veränderungen der Perfusion mit Hilfe der Quotientenermittlung zu erfassen.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≥ 30	≤ 29	≥ 30	≤ 29	≥ 30	≤ 29
n	28	29	28	29	28	29
$\bar{x}$	0,70	0,62	0,83	0,76	0,72	0,68
$s_{\bar{x}}$	0,04	0,04	0,07	0,05	0,04	0,04
t	1,430		0,705		0,652	
2p	< 0,1		< 0,25		< 0,3	

Tab. 11 a: Unterteilung des gesamten Patientengutes in Gruppen mit einem PAD (syst.) größer als 29 mmHg und Gruppen mit einem PAD (syst.) kleiner gleich 29 mmHg. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede.

I. Betrachtung der Aktivitätsverteilung Lungenoberfelder zu Lungenunterfeldern

Bei der Betrachtung der Quotienten Lungenoberfeld zu -unterfeld fällt auf, daß - vor allem bei Berücksichtigung nur der rechten Lunge - eine deutliche Umverteilung der Perfusion in die Oberfelder bei erhöhtem pulmonal-arteriellem Druck auftritt. Ein signifikanter Unterschied liegt jedoch nicht vor. Wird dagegen ein nur gering anderer Grenzwert der zu vergleichenden Gruppe (z.B. PAD ≥ 28 / ≤ 27 mmHg oder ≥ 27 / ≤ 26 mmHg) gesetzt, so sehen die Ergebnisse deutlich anders aus.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≥ 28	< 28	≥ 28	< 28	≥ 28	< 28
n	35	22	35	22	35	22
$\bar{x}$	0,71	0,58	0,84	0,73	0,74	0,64
$s_{\bar{x}}$	0,03	0,04	0,06	0,06	0,03	0,05
t	2,347		1,223		1,749	
2p	$< 0,025^*$		$< 0,3$		$< 0,1$	

Tab. 11 b: Gruppe von Patienten der Tab. 11 a, Unterteilung in PAD-Werte größer gleich und kleiner als 28 mmHg systolisch. Für den Quotienten aus rechtem Lungenober- und Unterfeld erhält man signifikante Unterschiede.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≥ 27	< 27	≥ 27	< 27	≥ 27	< 27
n	37	20	37	20	37	20
x	0,72	0,54	0,86	0,69	0,75	0,60
$s_{\bar{x}}$	0,03	0,04	0,06	0,06	0,03	0,04
t	3,296		2,649		2,649	
2p	$< 0,005^*$		$< 0,02^*$		$< 0,02^*$	

Tab. 11 c: Gruppe von Patienten der Tab. 11 a, Unterteilung in PAD-Werte (systolisch), größer gleich und kleiner als 27 mmHg. Für diesen Grenzwert erhält man in jedem Fall eine signifikant höhere Perfusion in die Lungenoberfelder.

Wie in obiger Untersuchung gezeigt werden konnte, werden am ehesten für den Quotienten aus rechtem Lungenober- und Unterfeld ($Q_{1,3}$) signifikante Unterschiede erzielt. Am günstigsten erweist sich für diese Ermittlungen ein Grenzwert von 27 mmHg. Für diese Unterteilung ergeben sich bei Betrachtung der rechten und/oder linken Lunge signifikant erhöhte Perfusionsverhältnisse zugunsten der Lungenoberfelder.

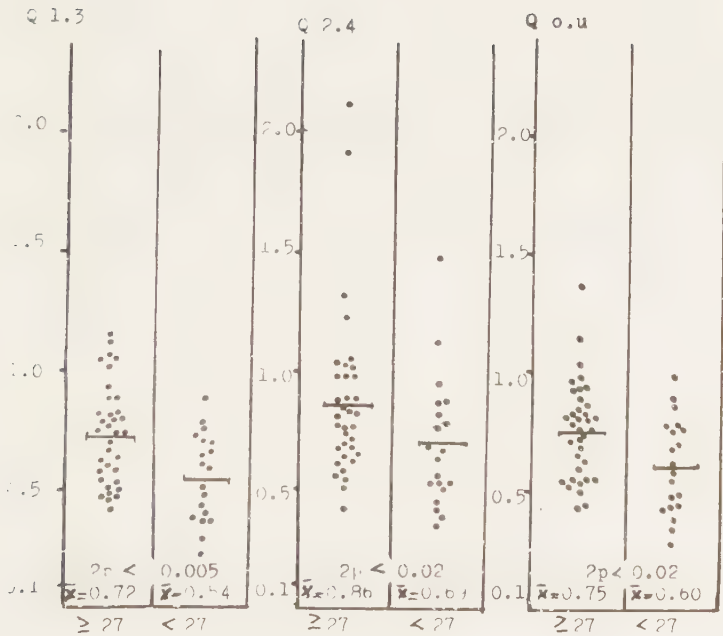


Abb. 12: Grafische Darstellung der in Tab. 11 a-c angeführten Ermittlungen.

Während sich in dieser Untersuchung als Grenzwert ein pulmonal-arterieller Druck von 27 mmHg systolisch als günstig erwies, verstehen andere Autoren (46) unter pulmonaler Hypertonie Druckwerte über 25/15 mmHg. In der angelsächsischen Literatur wird als solche zumeist ein pulmonal-arterieller Mitteldruck über 20 mmHg definiert (32,60). Dabei wird noch unterschieden in leichten (21 bis 36 mmHg), mittelschweren (37 bis 67 mmHg) und schweren (über 67 mmHg) Hochdruck. Die Untersuchungen, ob auf diese Weise signifikant höhere Quotienten in der Verteilung Lungenober- zu Unterfeld erzielt werden können, zeigen die in Tabelle 12 a - c aufgeführten Ergebnisse.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≤ 20	21 - 36	≤ 20	21 - 36	≤ 20	21 - 36
n	27	23	27	23	27	23
$\bar{x}$	0,61	0,66	0,76	0,80	0,66	0,68
$s_{\bar{x}}$	0,04	0,04	0,06	0,07	0,04	0,03
t	0,885		0,449		0,359	
2p	< 0,4		< 0,7		< 0,8	

Tab. 12 a: Statistischer Vergleich zwischen einem Kollektiv von Patienten mit normalem mittleren PAD (≤ 20 mmHg) und einem mit leicht erhöhtem PAD (21-36 mmHg) im Hinblick auf die Lungenperfu-sionsverteilung oben zu unten. Man erhält keine signifikanten Unterschiede.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≤ 36	≥ 37	≤ 36	≥ 37	≤ 36	≥ 37
n	50	7	50	7	50	7
$\bar{x}$	0,63	0,87	0,78	0,95	0,67	0,90
$s_{\bar{x}}$	0,03	0,08	0,04	0,17	0,03	0,09
t	2,992		1,241		2,833	
2p	< 0,005*		< 0,3		< 0,01*	

Tab. 12 b: Vergleich einer Gruppe von Fällen mit normalem und leicht erhöhtem mittleren PAD (≤ 36 mmHg) und einer Gruppe mit mittelschwerer und schwerer pulmonaler Hypertonie (pulmonal-arterieller, Mitteldruck ≥ 37 mmHg). Für diese Unterteilung lassen sich für $Q_{1,3}$ und $Q_{0,u}$ signifikante Unterschiede ermitteln.

	$Q_{1,3}$		$Q_{2,4}$		$Q_{0,u}$	
	≤ 20	> 20	≤ 20	> 20	≤ 20	> 20
n	27	30	27	30	27	30
$\bar{x}$	0,61	0,71	0,76	0,83	0,66	0,73
$s_{\bar{x}}$	0,04	0,04	0,06	0,07	0,04	0,03
t	1,808		0,793		1,239	
2p	< 0,1		< 0,5		< 0,3	

Tab. 12 c: Vergleich einer Gruppe von Fällen mit normalem mittleren PAD (≤ 20 mmHg) und einer Gruppe mit leichter, mittelschwerer und schwerer pulmonaler Hypertonie (mittlerer PAD > 20 mmHg). Man erhält keine signifikanten Unterschiede.

Bei Unterteilung in normalen und leicht erhöhten mittleren pulmonal-arteriellen Druck erfolgt keine eindeutige Perfusionsumverteilung in die Lungenoberfelder, ebensowenig bei einem mittleren pulmonal-arteriellen Druck von 20 mmHg als Grenzwert. Dieser Wert erscheint demnach für Ermittlungen von Perfusionsverhältnissen nicht geeignet.

Signifikante Unterschiede hingegen erhält man für die Quotienten aus rechten oberen und unteren Quadranten ($Q_{1,3}$) und aus beiden Lungenober- und Unterfeldern ($Q_{o,u}$) beim Vergleich von Fällen mit pulmonal-arteriellen Mitteldruck bis 36 mmHg gegenüber solchen mit höherem Druck. Die geringste Aussagekraft hat der Quotient aus linkem oberen und unteren Quadranten ($Q_{2,4}$).

Mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten (r) wurde geprüft, ob eine lineare Abhängigkeit besteht zwischen der Höhe des PAD und der Perfusionsumverteilung in die oberen Lungenbezirke (entsprechend den Untersuchungen für nur die Fälle mit Links-Rechts-Shunt, S.40).

	PAD $Q_{1,3}$	PAD $Q_{2,4}$	PAD $Q_{o,u}$
$\bar{x}$	34 0,66	34 0,80	34 0,70
$s_{\bar{x}}$	2,35 0,03	2,35 0,04	2,35 0,03
n	57	57	57
r	0,559	0,276	0,417
2α	< 0,001 *	< 0,05 *	< 0,01 *

Tab. 13: Beziehung der Höhe des PAD (systolisch, in mmHg) und des Anstieges der Perfusion in den Lungenoberfeldern; Ermittlung des Korrelationskoeffizienten r . Es besteht eine signifikante lineare Abhängigkeit für alle drei Quotienten.

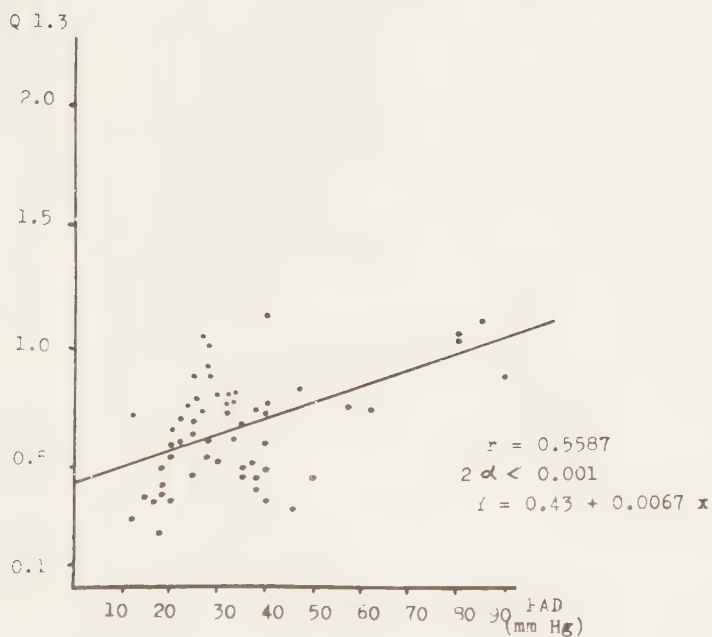


Abb. 13 a: Ausgleichung der Werte von Tab. 13 für den Quotienten $Q_{1,3}$ mittels einer Geraden.

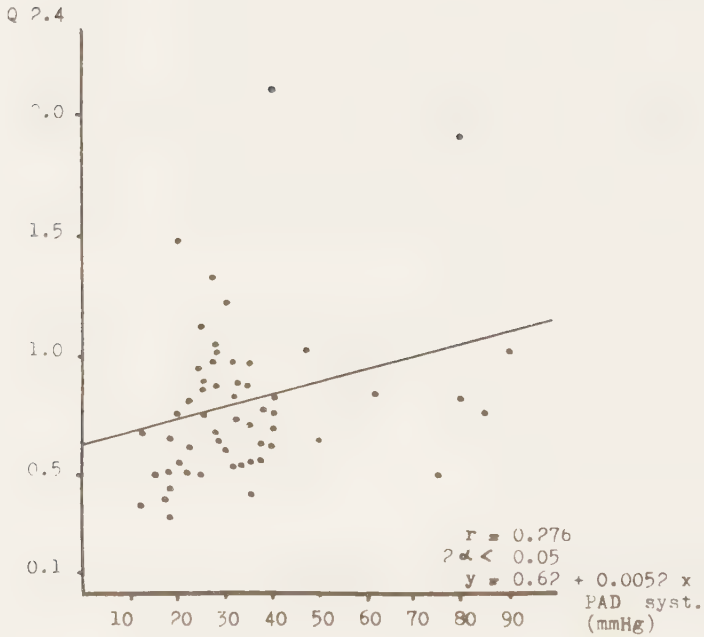


Abb. 13 b: Ausgleichung der Werte von Tab. 13 für den Quotienten $Q_{2,4}$ mittels einer Geraden.

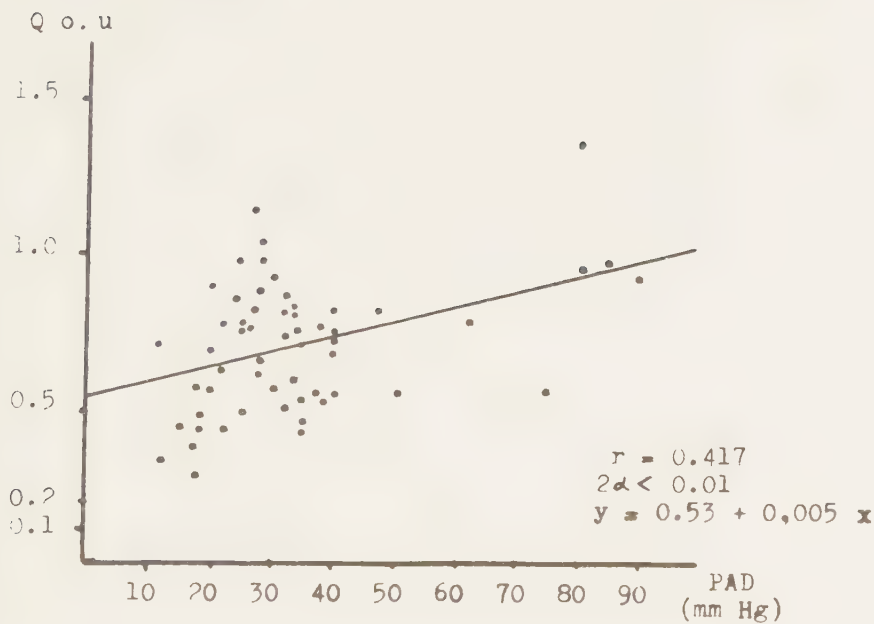


Abb. 13 c: Ausgleichung der Werte von Tab. 13 für den Quotienten $Q_{o,u}$ mittels einer Geraden.

Tabelle 13 und die dazugehörigen Abbildungen (Abb. 13 a - c) zeigen, daß keine allzu strenge lineare Abhängigkeit besteht, daß die Beziehung zueinander jedoch signifikant ist. Am deutlichsten zeigt sich dies bei dem Quotienten aus rechtem Lungenober- und Unterfeld ($Q_{1,3}$). Wie bei den vorausgegangenen Untersuchungen hat der Quotient aus linken Lungenober- und Unterfeld ($Q_{2,4}$) die geringste Aussagekraft, wenn auch diesmal signifikante Ergebnisse vorliegen. Man erhält eine Punktwolke etwa im Bereich des PAD von 30 mmHg und nur wenige Werte mit hohem Druck. Dieses Ergebnis ist insofern verständlich, da nach TRELL (69) bei verschiedenen Herzfehlern mit höherem Alter ein signifikant höherer PAD zu verzeichnen ist. Somit sind bei diesen Untersuchungen, durchgeführt bei Kindern, allein aufgrund dieser linearen Abhängigkeit seltener hohe Druckwerte zu erwarten.

Als Ergebnis dieser Betrachtung kann man jedoch, entsprechend dem Ergebnis der Untersuchung mit Hilfe des Student-t-Testes, festhalten, daß ein höherer PAD eine signifikant höhere Perfusion in die Lungenoberfelder zur Folge hat und zwar in linearer Abhängigkeit voneinander. Am deutlichsten zeigen sich diese Veränderungen in der rechten Lunge.

II. Aktivitätsverteilung der rechten und linken Lunge

Der Vergleich der rechten und linken Lunge zeigt, wiederum betrachtet bei verschiedenen Grenzen der als erhöht anzusehenden pulmonal-arteriellen Druckwerte, die in Tabelle 14 a - c angeführten Ergebnisse.

	$Q_{1,2}$		$Q_{3,4}$		$Q_{r,l}$	
	≥ 30	< 30	≥ 30	< 30	≥ 30	< 30
n	28	29	28	29	28	29
$\bar{x}$	1,16	1,07	1,30	1,32	1,25	1,17
s_x	0,06	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04
t	1,260		0,235		1,187	
2p	$< 0,30$		$< 0,90$		$< 0,30$	

Tab. 14 a: Vergleich einer Gruppe von Fällen mit einem systolischen PAD ≥ 30 mmHg und einer Gruppe mit einem PAD < 30 mmHg im Hinblick auf die Rechts-Links-Verteilung der Lungenperfusion. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede.

	$Q_{1,2}$		$Q_{3,4}$		$Q_{r,l}$	
	≥ 28	< 28	≥ 28	< 28	≥ 28	< 28
n	35	22	35	22	35	22
$\bar{x}$	1,17	1,01	1,33	1,28	1,26	1,13
s_x	0,05	0,04	0,05	0,07	0,05	0,04
t	2,246		0,567		1,911	
2p	$< 0,05^*$		$< 0,6$		$< 0,1$	

Tab. 14 b: wie Tab. 14 a; Trennung bei einem PAD von 28 mmHg (systolisch). Für den Quotienten aus rechtem und linkem Lungenoberfeld ($Q_{1,2}$) erhält man signifikante Unterschiede.

	$Q_{1,2}$		$Q_{3,4}$		$Q_{r,1}$	
	≥ 27	< 27	≥ 27	< 27	≥ 27	< 27
n	37	20	37	20	37	20
$\bar{x}$	1,18	0,99	1,35	1,25	1,26	1,10
$s_{\bar{x}}$	0,05	0,04	0,05	0,08	0,05	0,03
t	2,513		1,123		2,346	
2p	$< 0,02^*$		$< 0,3$		$< 0,025^*$	

Tab. 14 c: wie Tab. a; Trennung bei einem PAD von 27 mmHg (syst). Signifikante Unterschiede bestehen für $Q_{1,2}$ und $Q_{r,1}$.

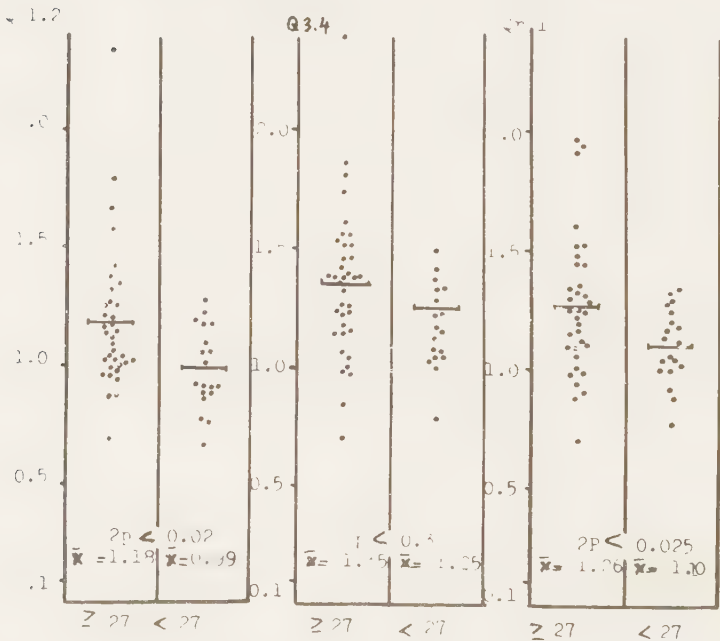


Abb. 14: Grafische Darstellung der in Tab. 14 c ermittelten Ergebnisse.

Für diese Ermittlungen erhält man signifikante Unterschiede für den Quotienten aus rechtem und linkem Lungenoberfeld ($Q_{1,2}$), sowohl für eine Grenze von 28 mmHg (syst.), wie auch deutlicher für die schon in früheren Untersuchungen sich als günstig erwiesene Grenze von 27 mmHg. Für diesen Trennbereich bestehen auch für den Quotienten aus rechter und linker Lunge ($Q_{r,l}$) signifikante Unterschiede. Die Grenze bei einem pulmonal-arteriellen Druck von 30 mmHg festzusetzen erscheint aufgrund auch dieser Ergebnisse für die Bestimmung von Perfusionsverhältnissen nicht sinnvoll. Der Quotient aus rechtem und linkem unteren Quadranten ($Q_{3,4}$) hat in dieser Untersuchung keine Aussagekraft. Aufgrund dieser Ergebnisse erkennt man mit Anstieg des PAD eine Umverteilung der Lungendurchblutung sowohl in die oberen Lungenfelder wie auch in die gesamte rechte Lunge. Die Errechnung des Korrelationskoeffizienten für die Rechts-Links-Verteilung zeigt die in Tabelle 15 ermittelten Ergebnisse.

	PAD $Q_{1,2}$		PAD $Q_{3,4}$		PAD $Q_{r,l}$	
$\bar{x}$	34	1,11	34	1,31	34	1,21
s_x	2,35	0,04	2,35	0,04	2,35	0,03
n	57		57		57	
r	0,364		0,072		0,247	
2α	< 0,01*		> 0,1		< 0,1	

Tab. 15: Ermittlung des Korrelationskoeffizienten für die Beziehung Anstieg des PAD und Rechts-Links-Verteilung der radioaktiven Substanz.

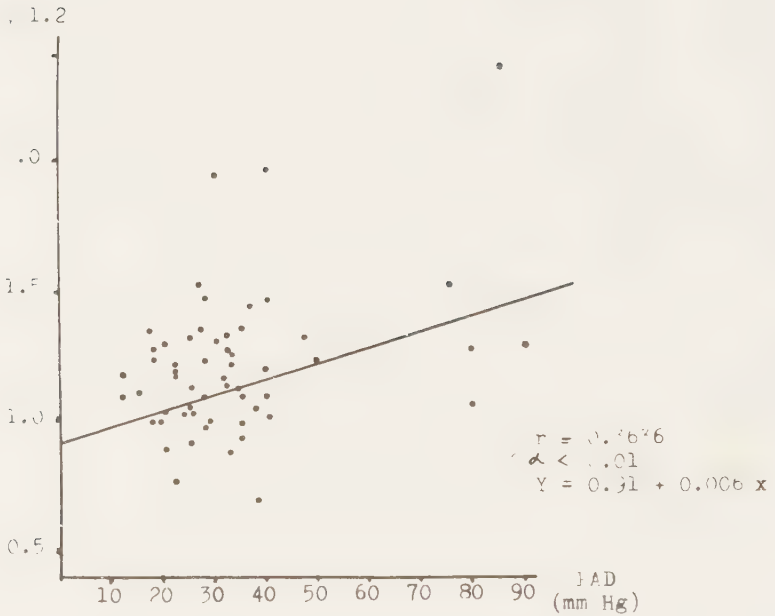


Abb. 15 a: Ausgleichung der Ergebnisse von Tab. 15 mittels einer Geraden. Für den Quotienten $\alpha_{1,2}$ besteht eine geringe lineare Korrelation.

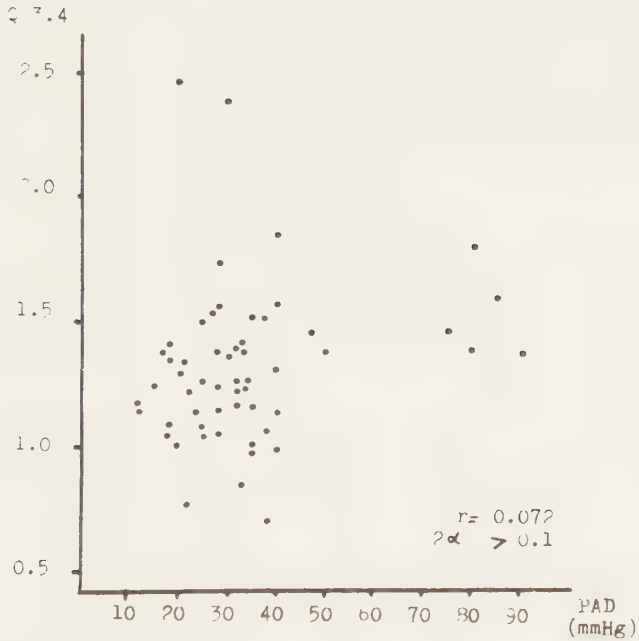


Abb. 15 b: Ausgleichung der Ergebnisse von Tab. 15 mittels einer Geraden. Für den Quotienten $Q_{3,4}$ besteht keine signifikante lineare Korrelation.

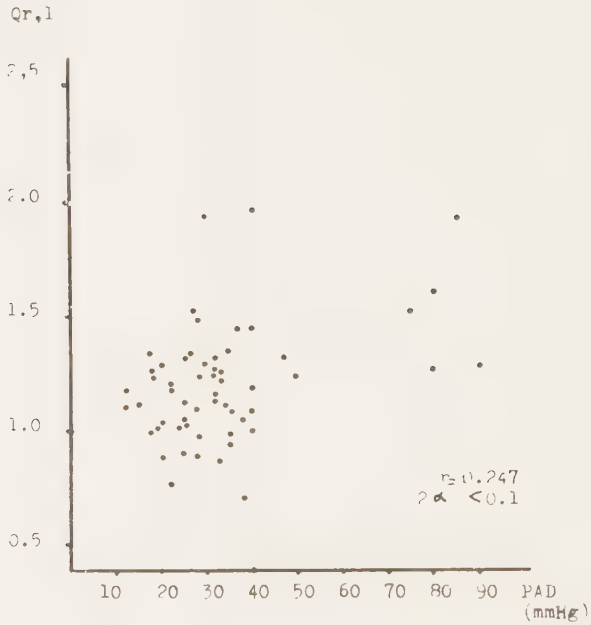


Abb. 15 c: Ausgleichung der Ergebnisse von Tab. 15 mittels einer Geraden. Für den Quotienten $Q_{r,1}$ besteht keine signifikante lineare Korrelation.

Man erkennt primär eine sehr geringe lineare Abhängigkeit. Jedoch bewirkt ein erhöhter PAD in den Lungenoberfeldern ($Q_{1,2}$) eine signifikant höhere Umverteilung der Lungenperfusion zugunsten des rechten oberen Lungenbereiches. Die Lungenunterfelder ($Q_{3,4}$) sind bei der Rechts-Links-Betrachtung in dieser Fragestellung ohne statistisch relevante Aussagekraft. Auch bei der Betrachtung der Quotienten aus rechter und linker Lunge insgesamt ($Q_{r,l}$) ergibt sich mit ansteigendem pulmonal-arteriellen Druck keine signifikant höhere Perfusion in die rechte Lunge.

6. Fälle mit einem Rechts-Links-Shunt

In Tabelle 16 werden sämtliche Patienten mit einem Rechts-Links-Shunt aufgeführt. Mitgezählt wurden auch die Fälle, die zusätzlich einen Links-Rechts-Shunt hatten.

Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,l}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{o,u}$	Q_L
1	0,77	0,80	0,79	0,94	0,99	0,97	0,35
2	2,34	1,60	1,92	1,11	0,76	0,97	0,24
9	1,00	1,81	1,27	1,05	1,92	1,36	0,08
11	0,74	1,11	0,94	0,62	0,93	0,77	0,37
13	1,23	1,38	1,34	0,36	0,40	0,37	0,10
24	0,89	1,17	1,10	0,28	0,38	0,33	0,32
39	1,19	1,38	1,28	0,87	1,01	0,93	0,16
43	0,71	0,76	0,75	0,42	0,45	0,43	0,31
46	1,34	1,38	0,90	1,01	1,04	1,03	0,30
49	1,20	0,77	0,91	0,74	0,47	0,59	0,17
53	1,33	1,60	1,52	0,37	0,44	0,40	0,33
62	1,20	1,15	1,17	0,71	0,68	0,70	0,44
n = 12							
$\bar{x}$	1,16	1,24	1,15	0,70	0,78	0,74	
$s_{\bar{x}}$	0,12	0,09	0,09	0,08	0,12	0,09	
t	0,64	0,45	0,36	0,33	0,26	0,01	
2p	<0,6	<0,7	<0,8	<0,8	<0,8	<0,99	

Tab. 16: Gruppe der Fälle mit einem Rechts-Links-Shunt (inclusive gekreuzter Shunt). Statistischer Vergleich mit den Normalfällen (Tab. 3). Die jeweiligen Mittelwerte weichen kaum voneinander ab.

Die Mittelwerte dieser Gruppe liegen recht nahe bei denen der Normalfälle. Die Szintigramme weichen jedoch dadurch von den normalen Bildern ab, daß sie meistens extrapulmonale Aktivität aufweisen (mediastinal, über der Leber- und Milzgegend sowie im Splanchnicus-Bereich). Diese Beobachtung drückt sich in einem hohen Quotienten Q_L aus. Darauf wird später noch einzugehen sein. Zu verweisen ist in diesem Zusammenhang auf den Fall 11 (Abbildung 19, S.69). - Auffällig ist allerdings, daß bei den Fällen 9 und 13 keine extrapulmonale Aktivität sichtbar ist. Bei Fall 9 (Bild S.45) erklärt sich dies dadurch, daß zusätzlich zu einem Rechts-Links-Shunt ein Links-Rechts-Shunt von 40 % des Kleinkreislaufvolumens besteht. Bei Fall 13 steht das Bild der Szintigrafie im Gegensatz zu der durch Herzkatheteruntersuchung und Angiocardiografie gewonnenen Diagnose: "Hypoplastischer rechter Ventrikel, Pulmonalinsuffizienz, Tricuspidalstenose und großer Vorhofseptumdefekt, großer Rechts-Links-Shunt auf Vorhofebene". Wenn man die anatomischen Fehlbildungen und hämodynamischen Gegebenheiten skizziert darstellt in der Weise wie BODELHTEL (4), ergibt sich nebenstehendes Bild (Abb. 16).

Aufgrund des großen Rechts-Links-Shuntes müßte man extrapulmonale Aktivität erwarten. Doch weder der ermittelte Quotient $Q_L = 0,1$ noch das szintigrafisch erworbene Bild lassen dies erkennen. Auch die anderen für dieses Szintigramm errechneten Quotienten stellen außer einem rechts stärkeren Aktivitätskern keine Besonderheiten dar.

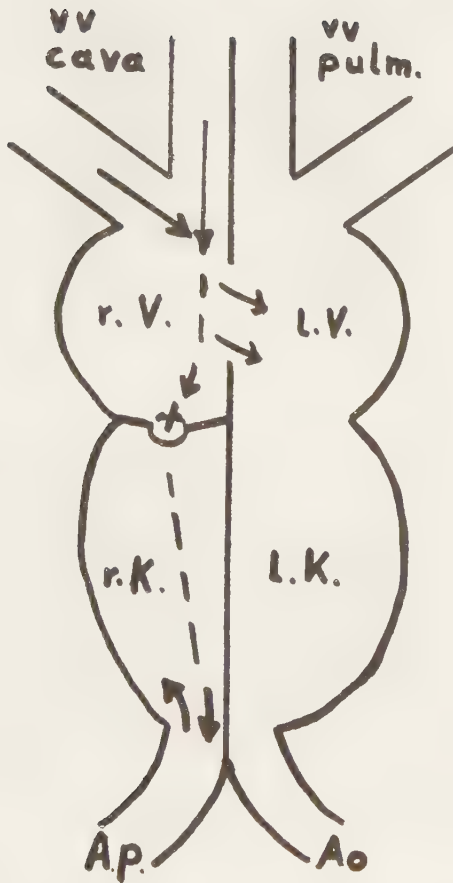


Abb. 16: Schematische Darstellung eines Herzens mit folgenden Mißbildungen: Tricuspidalstenose, hypoplastischer rechter Ventrikel, Pulmonalinsuffizienz und großer ASD mit großem Rechts-Links-Shunt auf Vorhofebene.

r.V. = rechter Vorhof

r.K. = rechte Kammer

l.V. = linker Vorhof

l.K. = linke Kammer

A.p. = Art. pulmonalis

A.o. = Aorta



Abb. 17: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm bei einem 11-jährigen Jungen, bei dem durch Herzkatheter-Untersuchungen und Angiocardiografie die Diagnose: "Tricuspidalstenose und großer ASD mit entsprechendem Rechts-Links-Shunt auf Vorhofebene, Pulmonalinsuffizienz, hypoplastischer rechter Ventrikel" gestellt wurde. (Fall 13). - Diskrepanz zu szintigrafisch erworbenem Befund, der keine Besonderheiten erkennen läßt.

Wie in Abbildung 17 zu erkennen ist, stellt sich deutlich zentral-konzentriert eine den Mediastinalgrenzen sich anlehnde und den Zwerchfellkuppen aufsitzende Aktivitätsanreicherung dar, die nicht einmal bis zur Höhe des Jugulums hinaufreicht und an keiner Stelle auch nur annähernd die Thoraxwand erreicht. Rechts ist ein deutlicher Aktivitätskern vorhanden. Keine extrapulmonale Darstellung. Es besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen Herzkatheter und Angiocardiografiebefund gegenüber dem Szintigramm.

Bei weiterer Betrachtung dieser Gruppe von Bildern fallen noch besonders die Fälle 2 und 53 auf. Die Quotienten verifizieren das optisch Sichtbare: die linke Lunge zeigt weitaus geringere Aktivität, extrem deutlich bei Fall 2 (Abb. 18).

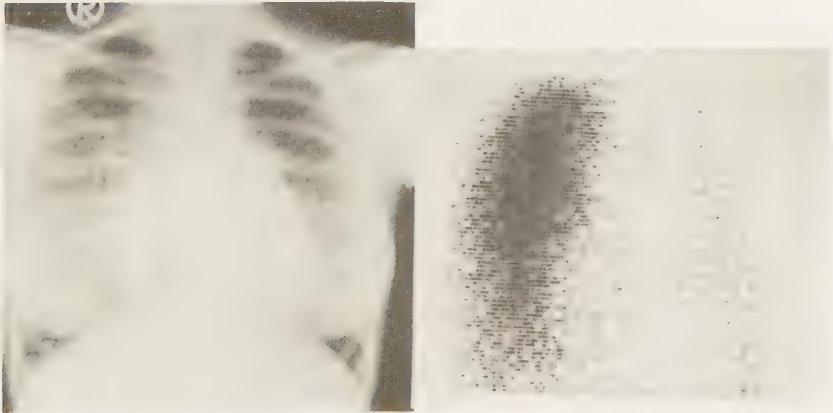


Abb. 18: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm einer 18-jährigen Patientin mit ASD und VSD. Fixierte pulmonale Hypertonie nach Shuntumkehr (Z. n. Bändelung 1965), (Fall 2). Nahezu fehlende Perfusion der linken Lunge. Aktivitätsmaximum im rechten Oberfeld. Extrapulmonale Aktivität.

Szintigrafisch fällt der im rechten Oberfeld liegende große Aktivitätskern auf. Die Zwerchfellgrenze wird infolge hoher Leberaktivität leicht überschritten. Die linke Lunge kommt praktisch überhaupt nicht zur Darstellung.

Der hier besonders interessierende Quotient aus rechter und linker Lunge ($Q_{r,l}$) zeigt bei einem Wert von 1,92 das stark veränderte Verteilungsverhältnis an. Noch deutlicher zeigt sich dies bei Betrachtung des Quotienten $Q_{1,2}$ mit 2,34. Ferner bemerkt man in der rechten Lunge eine Verlagerung des Aktivitätskerns nach apikal.

7. Fallot'sche Tetralogie

Bei den in Tabelle 17 aufgeführten Fällen lag eine Fallot'sche Tetralogie vor, bei Fall 62 zusätzlich ein ASD, also eine Fallot'sche Pentalogie.

Nr.	$Q_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,l}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{c,u}$	Q_L
11	0,74	1,11	0,94	0,62	0,93	0,77	0,37
24	0,89	1,17	1,10	0,28	0,38	0,33	0,32
43	0,71	0,76	0,75	0,42	0,45	0,43	0,31
46	1,34	1,38	0,90	1,01	1,04	0,03	0,30
53	1,33	1,60	1,52	0,37	0,44	0,40	0,33
55	0,89	1,23	1,11	0,37	0,51	0,43	0,15
62	1,20	1,15	1,17	0,71	0,68	0,70	0,44
$n = 7$							
$\bar{x}$	1,01	1,20	1,07	0,54	0,63	0,58	
$s_{\bar{x}}$	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
t	0,66	1,20	1,50	1,62	1,72	1,66	
2p	<0,6	<0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	

Tab. 17: Gruppe der Fälle mit Fallot'scher Tetralogie (Nr. 62 Fallot'sche Pentalogie). Statistischer Vergleich mit den Normalfällen (Tab. 3).

Neben der Pulmonalstenose zeigen die hier ermittelten Werte die größte Abweichung von den Normalfällen. Jedoch sind wiederum in keinem Fall signifikante Unterschiede nachzuweisen. Als typisches Beispiel für diese Gruppe sei Fall 11 angeführt.

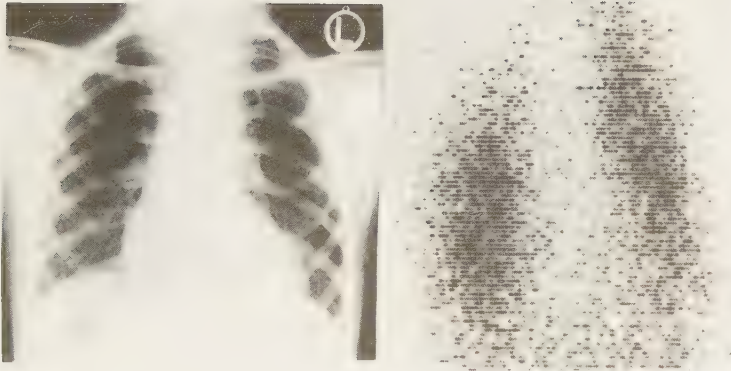


Abb. 19: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm eines 12-jährigen Patienten mit Fallot'scher Tetralogie mit weit reitender Aorta und fast atretischer A. pulmonalis (Fall 11). Deutliche Perfusionsminderung des rechten Oberfeldes. Starke extrapulmonale Aktivität.

Wie in Abbildung 19 zu erkennen ist, erscheint der rechte obere Quadrant nahezu stumm, was auch gut zum Ausdruck kommt im Quotienten $Q_{1,2} = 0,74$. Auffälliger noch ist die starke extrapulmonale Aktivität. Dies ist gut erkennbar am Quotienten $Q_L = 0,37$ (s.u.) Diese extrapulmonale Aktivität ist Ausdruck des hier vorliegenden Rechts-Links-Shunt: das i.v.-injizierte Radiojod gelangt zum Teil unter Umgehung des pulmonalen direkt in den großen Kreislauf, wo es in den Praekapillaren und Kapillaren der verschiedenen Organe fixiert wird. Hier vor allem sichtbar im Leber-, Milz- sowie Splanchnicus-Bereich.

Auffällig ist in diesem Zusammenhang das Szintigramm von Fall 53.

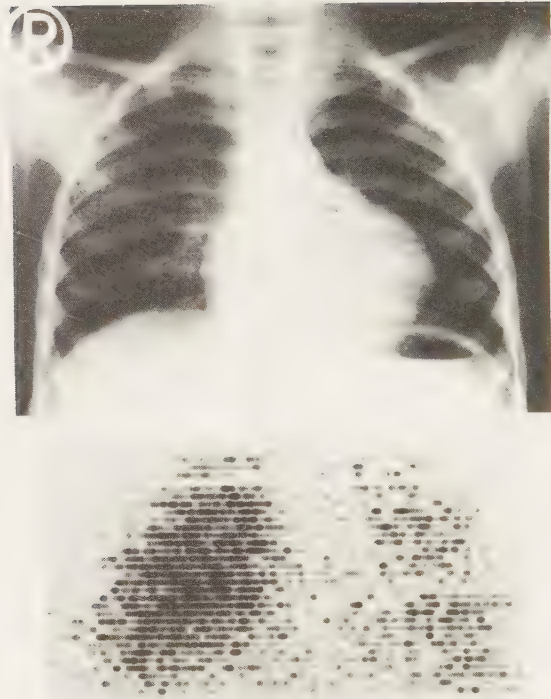


Abb. 20: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm eines 3-jährigen Patienten mit Fallot'scher Tetralogie. Rechts-Links-Shunt von etwa 40 % (Fall 53). Ausgeprägte Perfusionsminderung der gesamten linken Lunge, extrapulmonale Aktivität mediastinal.

Im Gegensatz zu den anderen Bildern von Patienten mit Fallot'scher Tetralogie findet sich hier rechts eine deutlich verstärkte Aktivität. Wiederum liegt mit 0,34 ein hoher Q_L vor, was aufgrund des hohen Rechts-Links-Shunt zu erwarten ist. (laut Herzkatheterbericht: Shuntvolumen von 40 % des Kleinkreislaufvolumens).

Zusammenfassend sieht man bei der Gruppe mit Fallot'scher Tetralogie eine recht weite Streuung der Einzelwerte innerhalb einer Gruppe. Ferner ist eine auffallend hohe Leberaktivität zu beobachten.

8. Hohe Leberaktivität

Wie beschrieben, weisen alle Fälle mit Fallot'scher Tetralogie, ferner die mit Rechts-Links-Shunt anderer Genese hohe extra-pulmonale Aktivität auf. Diese Fälle wurden quantitativ erfaßt durch Messen des Impulsmaximums über der Leber. 26 Fälle wiesen eine hohe Leberaktivität auf, wozu zunächst willkürlich alle Fälle mit einem $Q_L \geq 0,15$ gerechnet wurden (s. Tab. 18).

Nr.	J _{1,2}	Q _{3,4}	Q _{r,1}	Q _{1,3}	Q _{2,4}	Q _{o,u}	U _L	Diagnose
1	0,77	0,80	0,79	0,94	0,99	0,97	0,35	SV
2	2,34	1,60	1,92	1,11	0,97	0,97	0,24	ASD, VSD
4	1,18	1,50	1,32	0,87	1,12	0,97	0,23	VSD, klein, hämodyn. unbed.
8	0,94	1,26	1,11	0,66	0,88	0,75	0,45	Aortenisthmusstenose
11	0,74	1,11	0,94	0,62	0,92	0,77	0,37	F ₄
17	1,02	1,32	1,19	0,59	0,76	0,67	0,19	DB, hämodyn. unbedeutend
24	0,89	1,17	1,10	0,28	0,38	0,33	0,32	F ₄
25	1,17	1,40	1,32	0,46	0,54	0,49	0,20	Kl. VSD, hämodyn. unbed.
28	0,86	1,07	1,00	0,42	0,52	0,47	0,20	DB
34	1,06	1,04	1,05	0,78	0,76	0,77	0,24	ASD (Sek.-typ)
39	1,19	1,38	1,28	0,87	1,01	0,93	0,16	ASD, VSD
40	0,88	1,04	0,98	0,57	0,67	0,62	0,15	subvalv.Ao.-sten. +Ao. insuff.
43	0,71	0,76	0,75	0,42	0,45	0,31	0,31	F ₄
44	1,24	1,23	1,23	0,88	0,87	0,88	0,20	DB
46	1,34	1,38	0,90	1,01	1,04	1,03	0,30	F ₄
48	1,40	1,56	1,48	0,93	1,03	0,97	0,15	DB
49	1,20	0,77	0,97	0,74	0,47	0,59	0,17	ASD, Stenose n.Op.einer PA
50	1,06	1,22	1,15	0,73	0,84	0,78	0,20	Z.n.Ligatur eines DB+Bündelung der Ao.-pul.
53	1,33	1,60	1,52	0,37	0,44	0,40	0,33	F ₄
54	1,15	1,53	1,34	0,73	0,97	0,82	0,46	Transposition, single ventricle
55	0,89	1,23	1,11	0,37	0,51	0,43	0,15	F ₄
57	0,97	1,15	1,09	0,40	0,97	0,43	0,20	V.a. MS, MI und Ao.-stenose
58	0,99	1,25	1,13	0,69	0,87	0,77	0,38	DB
59	1,32	1,51	1,44	0,51	0,58	0,54	0,21	DB
62	1,20	1,15	1,17	0,31	0,68	0,70	0,44	F ₅ hochgr. infund.Stenose
65	1,79	1,39	1,60	1,04	0,81	0,94	0,15	VSD

Tab. 18: erster Teil, Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tab. 18

$n =$	26								
$\bar{x}$	1,13	1,24	1,18	0,68	0,77	0,70	0,26		
$s_{\bar{x}}$	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04			
t	0,60	0,71	0,12	0,20	0,76	0,42			
$2p$	<0,6	<0,5	<0,95	<0,9	<0,5	<0,7			

Tab. 18: Zusammenstellung der Fälle mit einem Q_L -0,15.
Abkürzungen entsprechend Tab. 1, S. 6.

Die Verteilungsverhältnisse dieser Gruppe von Fällen verhalten sich ähnlich wie die der Normalfälle. Eine Aufschlüsselung dieser Gruppe von Patienten nach den verschiedenen Herzfehlern in Hinblick auf den Quotienten Q_L ergibt folgende grafische Darstellung (s. Abb. 10).

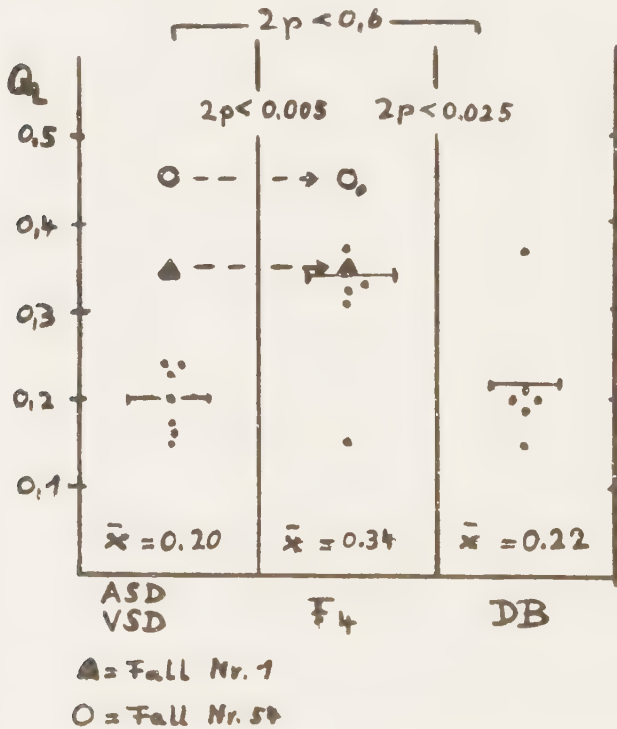


Abb. 21: Aufteilung der Fälle mit hoher Leberaktivität in einzelne Herzfehlergruppen.

- Q_L = Quotient Impulsmaximum Leber/ I.m. Lunge
 ASD = Vorhofseptumdefekt
 VSD = Ventrikelseptumdefekt
 DB = offener Ductus arteriosus Botalli
 F_4 = Fälle mit Fallot'scher Tetralogie
 (incl. Fall 62 mit Fallot'scher Pentalogie)

Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß die Werte der Patienten mit ASD/VSD und mit offenem Ductus arteriosus alle dicht beieinander um den Mittelwert von 0,2 liegen. Als einziger liegt bei der Gruppe mit offenem Ductus arteriosus Fall 58 mit $Q_L = 0,38$ deutlich über diesem Mittelwert. Demgegenüber liegen sämtliche Werte der Patienten mit Fallot'scher Tetralogie über $Q_L = 0,3$, wobei der Wert bei Fall 62 als extrem hoch und bei Fall 55 als sehr niedrig auffallen. Bei Fall 62 erklärt sich dieser hohe Wert zum Teil dadurch, daß eine hochgradige Pulmonalstenose (infundibulär) sowie ein Rechts-Links-Shunt auf Vorhof- und Ventrikelebene vorliegen. Dadurch wird einesteils der Durchfluß durch das verengte Ostium der Pulmonalarterie stark erschwert, gleichzeitig wird durch die beiden Septumdefekte der Shunt von rechts nach links wesentlich erleichtert. Aus diesen Gegebenheiten resultiert dieser hohe Wert Q_L . Benutzt man wiederum die Skizzierung nach BODECHTEL (4) so erhält man Abbildung 22.

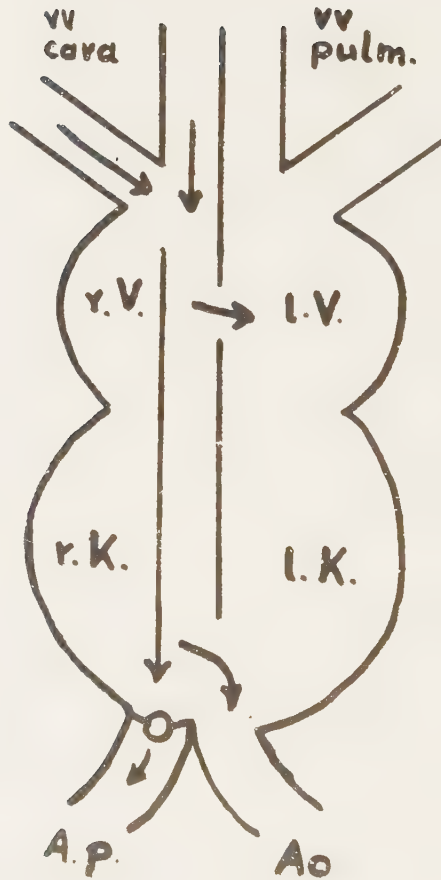


Abb. 22: Schematische Darstellung eines Herzens mit Fallot'scher Pentapentagon mit hochgradiger Pulmonalstenose. Rechts-Links-Shunt auf Vorhof- und Ventrikel-ebene; $Q_L = 0,44$, (Fall 62). Abkürzungen S. 65 Abb. 16.



Abb. 23: Röntgen-Thorax und Lungenszintigramm bei einem 1 1/2-jährigen Mädchen mit Fallot'scher Pentalogie (Fall 62). Man erkennt erhebliche extrapulmonale Aktivität als Ausdruck eines Rechts-Links-Shuntess auf Vorhof- und Ventrikelebene, begünstigt durch eine hochgradige Pulmonalstenose.

Die Fälle 1 und 54 sind etwas schwierig in die grafische Darstellung (Abbildung 21, S.74) einzuordnen. Der erste mit der Diagnose "Pulmonalatresie, offener Ductus Botalli und single ventricle", wie nebenstehend skizziert (Abbildung 24), wie auch Fall 54 mit der Diagnose: "Transposition der großen Gefäße und single ventricle" mit entsprechend skizzierten Bild (Abbildung 25) sind zwar als große Ventrikelseptumdefekte aufzufassen, müßten jedoch, nach hämodynamischen Gesichtspunkten betrachtet, eher zu den Fällen mit Fallot'scher Tetralogie zugeordnet werden, da bei den beiden Fällen neben dem Links-Rechts-Shunt auch ein Rechts-Links-Shunt wirksam wird. In der Gruppe der Fälle mit Fallot'scher Tetralogie liegen sie im Bereich des Mittelwertes in bezug auf Q_L .

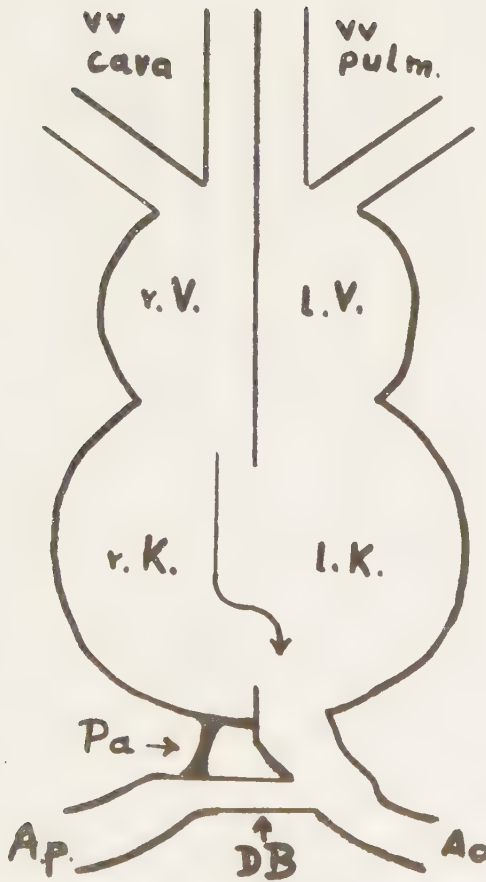


Abb. 24: Schematische Darstellung des Herzens mit Pulmonal-
atresie (Pa), offenem Ductus Botalli (DB) und
single ventricle (Fall 1), $Q_1 = 0,35$.
Weitere Abkürzungen siehe Legende Abbildung 16 (S.65).

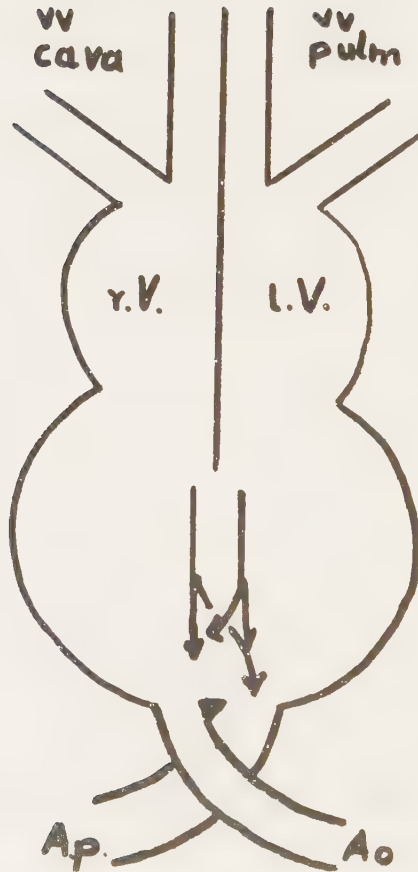


Abb. 25: Schematische Darstellung eines Herzens mit Transposition der großen Gefäße und single vertricle (Fall 54), $Q_L = 0,46$.
 Weitere Abkürzungen: siehe Legende Abbildung 16 (S.65).

Um diesen optisch gewonnenen Eindruck zu prüfen, werden unter Anwendung des Student-t-Testes die Werte dieser 3 Gruppen verglichen, wobei die fraglichen zwei Fälle einmal zur Gruppe mit ASD/VSD, dann zu der mit F_4 zugeordnet wurden. Man erhält folgende Ergebnisse (Tab. 19 a - f):

a)	DB	A_{VSD} (ohne Fall 1 und 54)	b)	DB	A_{VSD} (mit Fall 1 und 54)
n_x	6	7	6	9	
$\bar{x}(Q_L)$	0,22	0,20	0,22	0,24	
s_x	0,03	0,015	0,03	0,033	
t		0,653		0,455	
2p		<0,60		<0,70	
c)	DB	F_4 (mit Fall 1 und 54)	d)	DB	F_4 (ohne Fall 1 und 54)
n_x	6	8	6	8	
$\bar{x}(Q_L)$	0,22	0,34	0,22	0,32	
s_x	0,03	0,03	0,03	0,04	
t		2,563		1,997	
2p		<0,025*		<0,1	
e)	F_4 (+1/54)	A_{VSD} (-1/54)	f)	F_4 (-1/54)	A_{VSD} (+1/54)
n_x	8	7	6	9	
$\bar{x}(Q_L)$	0,34	0,20	0,32	0,24	
s_x	0,03	0,01	0,04	0,03	
t		3,705		1,448	
2p		<0,005*		<0,20	

Tab. 19 a - f: Unterteilung der Fälle mit hohem Q_L in die einzelnen Herzfehlergruppen und statistischer Vergleich in Bezug auf diesen Quotienten. Verschiedene Zuteilung der Fälle 1 und 54 (s. Text).

ASD = Vorhofseptumdefekt
VSD = Ventrikelseptumdefekt

F_4 = Fallot'sche Tetralogie
DB = offener Ductus arteriosus Botalli

Es zeigt sich, daß zwischen den Gruppen der Fälle mit Ventrikel- und Vorhofseptumdefekt und offenem Ductus Botalli kein signifikanter Unterschied in bezug auf Q_L festzustellen ist, unabhängig von der Zuordnung der Fälle 1 und 54. Dies ist aufgrund des gleichgerichteten Shuntes bei der Gruppen zu erwarten, wie auch aus der grafischen Darstellung (Abb.21, S.74) ersichtlich. Beim Vergleich der Gruppen offener Ductus Botalli und Fallot'sche Tetralogie wird der oben erwähnte Unterschied deutlich: nur wenn man die beiden fraglichen Fälle zu der Gruppe mit Fallot'scher Tetralogie zählt, ergeben sich für sie eindeutig höhere Mittelwerte für Q_L . Bei der Betrachtung des Quotienten Leber- zu Lungenaktivität besteht also ein signifikanter Unterschied zwischen den Fällen mit offenem Ductus arteriosus und denen mit Fallot'scher Tetralogie. Ein entsprechendes Ergebnis erhält man, wenn man die Fälle der Gruppe mit Vorhof-/Ventrikelseptumdefekt mit denen mit Fallot'scher Tetralogie vergleicht: wiederum liegen signifikant höhere Mittelwerte für die letztere Gruppe nur dann vor, wenn die Fälle 1 und 54 zu dieser Gruppe gezählt werden.

Es stellt sich die Frage, ob man durch derartige Quotientenberechnungen nach Ermittlung der Impulsmaxima über Lunge und Leber auf einen Rechts-Links-Shunt schließen kann, wenn Q_L einen gewissen Wert überschreitet; zum Beispiel 0,3, denn in obiger Berechnung wurden bei den Fällen mit Fallot'scher Tetralogie entsprechend denen mit Rechts-Links-Shunt mit nur einer Ausnahme Werte erhalten, die nicht kleiner als $Q_L = 0,3$ waren. Umgekehrt lagen die Werte der Fälle mit Links-Rechts-Shunt (ASD, VSD und DB), wiederum mit einer Ausnahme, nicht über einem Wert von $Q_L = 0,25$.

Stellt man, dieser Überlegung entsprechend, sämtliche Fälle mit Rechts-Links-Shunt zusammen und vergleicht sie sowohl mit den Normalfällen wie auch mit dem Links-Rechts-Shunt-Kollektiv, so erhält man, die Fälle mit gekreuztem Shunt auslassend, das in Tabelle 20 aufgeführte Ergebnis.

	NF Li-Re-Sh		NF Re-Li-Sh		Li-Re-Sh Re-Li-Sh	
n	11	17	11	6	17	6
$\bar{x}(Q_L)$	0,11	0,14	0,11	0,34	0,14	0,34
s_x^-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
t	1,004		6,742		5,331	
2p	< 0,4		< 0,001 *		< 0,001 *	

Tab. 20: Vergleich der Normalfälle (NF) mit der Gruppe mit Links-Rechts-Shunt (Li-Re-Sh) und mit Rechts-Links-Shunt (Re-Li-Sh), ferner Vergleich beider Shuntgruppen miteinander, jeweils in bezug auf Q_L .

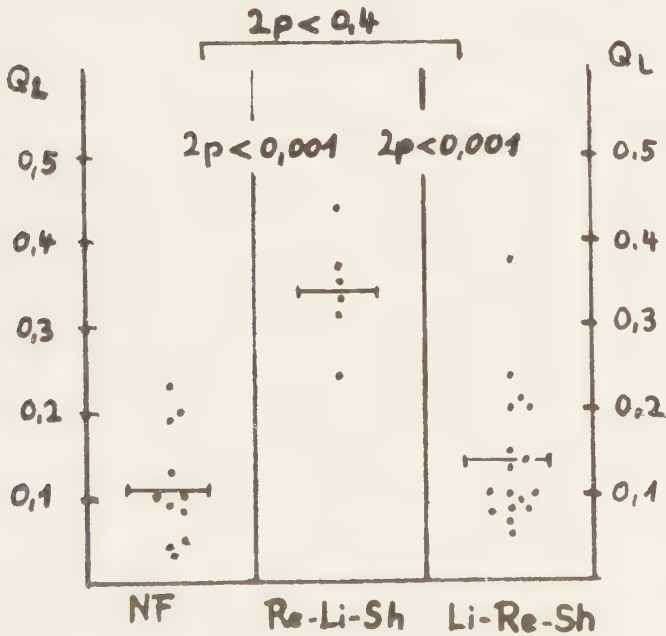


Abb. 26: Graphische Darstellung der in Tab. 20 angeführten Ergebnisse.

Die Ergebnisse bestätigen oben geäußerte Vermutung und zeigen: durch Anwendung des Quotienten Q_L ist es möglich, einen Rechts-Links-Shunt eindeutig gegenüber einem Links-Rechts-Shunt sowie gegen ein Normalkollektiv abzugrenzen. Dagegen besteht kein Unterschied zwischen Normalfällen und einem Links-Rechts-Shunt-Kollektiv.

9. Weitere Herzfehler und Herzerkrankungen

Bisher nicht tabellarisch erfaßt wurden folgende Fälle:

Nr	$\bar{Q}_{1,2}$	$Q_{3,4}$	$Q_{r,1}$	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$	Diagnose
19	0,92	1,33	1,19	0,36	0,52	0,43	Aortenstenose
22	1,02	1,14	1,09	0,75	0,83	0,79	Aortenisthmusstenose
32	1,13	1,41	1,27	0,78	0,97	0,86	korrig. Transposition, Mitralinsuff., geringe MS.
36	1,09	2,48	1,03	0,65	1,48	0,89	Myocardiopathie
37	1,24	1,26	1,25	0,72	0,73	0,73	Aortenisthmusstenose
42	1,37	1,74	1,52	1,04	1,32	1,14	Aortenisthmusstenose

Tab. 21: Zusammenstellung der bislang nicht einzuordnenden Fälle (MS = Mitralstenose).

Diese Fälle bieten keine großen Besonderheiten. Die entsprechenden Quotienten der drei Kinder mit Aortenisthmusstenose sind zu weit gestreut, als daß man bei der geringen Anzahl bestimmte Aussagen machen könnte. Der extrem hohe Wert des Quotienten aus rechtem und linkem Lungenunterfeld ($Q_{3,4}$) bei Fall 36 bietet in Szintigramm und Röntgenbild etwa den gleichen Aspekt wie Fall 3 (S. 35), ist also zurückzuführen auf ein stark vergrößertes Herz. Erwartungsgemäß findet sich bei keinem dieser Fälle eine wesentliche extrapulmonale Aktivität.

10. Prüfung des Zusammenhanges Herzbreite und Quotient

$Q_{2,4}$ bzw. $Q_{3,4}$

Entsprechend den Fällen 36 und 3 soll nachgeprüft werden, ob eine nachweisbare Abhängigkeit besteht zwischen der röntgenologisch festzustellenden Herzgröße (bestimmt durch den nicht allzu exakten Quotienten Herzbreite : Thoraxbreite - in cm gemessen - und zwar in Höhe des basalen, medialen Winkels der rechten Lunge) und den Quotienten aus rechtem und linkem Lungenunterfeld ($Q_{3,4}$) bzw. aus linkem Ober- und Unterfeld ($Q_{2,4}$). Schon bei grob vergleichender Untersuchung wird klar, daß weitaus mehr Herzen im Röntgenbild als wesentlich vergrößert zu erkennen sind, als dies aufgrund des Wertes einer dieser beiden Quotienten zu erwarten wäre.

Eine sichere Aussage über die Herzgröße allein durch die Quotientenbetrachtung ist also nicht möglich.

Da auf diesen Punkt in der Diskussion nicht weiter eingegangen wird, sei an dieser Stelle auf anderslautende Ergebnisse hingewiesen. Nach JAMES und Mitarbeitern (42) ist einem röntgenologisch vergrößerten Herzen in jedem Fall ein auch im Lungenszintigramm sichtbares vergrößertes Herz zuzuordnen. SPELLBERG et al (62) hingegen erkennen ebenfalls keine signifikante Korrelation zwischen Hypoventilation der linken Lunge und Größe des linken Vorhofes (bestimmt durch den "carinal angle", d. h. dem Winkel, der aus rechtem und linkem Hauptbronchus nach Abgang aus der Trachea gebildet wird).

Diskussion:

Der Versuch, die Aktivitätsverteilung im Lungenszintigramm durch Quotienten zahlenmäßig zu erfassen, wurde, zumeist bei Erwachsenen, bereits von einigen Autoren unternommen. Es wurde einesteils die Rechts-Links-Verteilung (meist angegeben in %), andernteils das Verhältnis kranial zu kaudal ermittelt. FRIEDMAN (27) und SESTER (59), - letztere benutzte allerdings eine Szintillationskamera - bestimmten beide den Quotienten aus oberem zu unterem Drittel der rechten Lunge, wobei das mittlere Drittel ausgelassen wurde. Um zu sehen, ob die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Quotienten mit denen dieser Autoren verglichen werden können, werden für die Normalfälle ebenfalls die Quotienten aus oberem zu unterem Drittel bestimmt. Es werden die in Tabelle 22 aufgeführten Ergebnisse erhalten.

Fall Nr.	1./3. Drittel	$Q_{1,3}$
4	0,99	0,87
10	0,71	0,80
12	0,68	0,64
14	0,76	0,80
15	0,61	0,60
16	0,55	0,60
17	0,59	0,59
18	0,77	0,54
25	0,69	0,46
30	0,66	0,79
35	0,60	0,76
n	11	11
$\bar{x}$	0,69	0,68

Tab. 22: Vergleich der Quotienten aus oberem und unterem Drittel der rechten Lunge mit denen aus oberem und unterem rechten Quadranten ($Q_{1,3}$) für Normalfälle.

Es zeigt sich kein wesentlicher Unterschied beim Vergleich der Quotienten aus oberem und unterem Quadranten der rechten Lunge ($Q_{1,3}$) mit den Quotienten aus oberem und unterem Drittel der rechten Lunge.

In den meisten angeführten Literaturstellen wird der hier als 4. Quadrant bezeichnete Lungenbezirk nicht berücksichtigt. Nach CSAKANY (13) ist die Aktivität des rechten Herzens als Störfaktor für die zahlenmäßige Erfassung sogar des 3. Quadranten aufzufassen. Er benutzt deshalb zur Ermittlung der Aktivität in der rechten Lunge ein etwa 2 cm dickes Segment der Sagittalebene in der Medioclavicularlinie, während die anderen Lungenbereiche mit Hilfe einer entsprechenden Schaltung des Analysator-Oszilloskopes ausgeblendet werden. Die Ergebnisse der hier berücksichtigten Methodik zeigen eine Aktivitätsverminderung durch Herzvergrößerung. Deshalb ist der Aussage von HÖR (40) und anderen Autoren (27,35,36,52) zuzustimmen, wonach eine Herzvergrößerung "eine Fehlbestimmung der aktuellen Durchblutungsquotienten bedingen kann. In diesem Fall wird eine Erhöhung des

Quotienten $Q_{0,u}$ vorgetäuscht, die für eine echte Umverteilung nicht repräsentativ ist". Entsprechendes gilt für $Q_{2,4}$ sowie für $Q_{3,4}$ bei der Betrachtung der Rechts-Links-Verteilung. Deshalb ist es sinnvoll, beim Ermitteln von Durchblutungsverhältnissen a) oben zu unten nicht die linke Lunge (also $Q_{2,4}$), b) rechts zu links nicht den Quotienten $Q_{3,4}$ zu beurteilen.

A) Diagnostizierbarkeit von Herzfehlern

Die Auswertung der in dieser Arbeit durchgeführten Messungen wurde zum Teil unter dem Gesichtspunkt vorgenommen, ob sich einzelne Herzfehler diagnostizieren lassen. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von HÖR (40), LIN (48), (dieser bei Patienten mit Fallot'scher Tetralogie) sowie LUTHER (51), (dieser bei Mitralvitien) ist festzustellen, daß das hier angewandte Verfahren der Lungenperfusionsszintigrafie nicht geeignet ist zur Diagnostik von angeborenen Herzfehlern, da vitientypische Szintigrammbefunde nicht erhoben werden können. Dies wird deutlich bei der Vielfältigkeit der demonstrierten Befunde.

B) Rechts-Links-Verteilung

Um die gewonnenen Werte bei Betrachtung der Rechts-Links-Verteilung mit denen anderer Autoren (11,24,28,56,67) zu vergleichen, werden sie in Tabelle 23 zusammengefaßt. Mit Ausnahme von FEINE (24) beschrieben alle soeben genannten Autoren nur die Verteilung entsprechend dem Quotienten aus rechter und linker Lunge ($Q_{r,l}$).

Autor	NF	PS	Li-Re-Shunt			F ₄
			VSD	DB	ASD	
CHEN (11)	55,67					
FRIEDMANN (28)	53 _± 2,3	47,1 _± 2,5		52,4 _± 2,5		52,7 _± 2
PERLOFF (56)	52 _± 3				53	
TONG (67)		43,7	59,6	52,7 ⁺	52,4	45,6 [*]
eigene Q _{1,2}	1,07(51,7)	48,7	53,9	52,9		50,2
Ergeb- Q _{3,4}	1,29(56,5)	54,5	54,5	56,5		53,8
nisse Q _{r,1}	1,19(54,3)	53,1	54,9	54,3		51,7
FEINE (24) Q _{1,2}	1,19					
Q _{3,4}	1,47					
Q _{r,1}	1,36					

⁺ nur ein Fall beschrieben

^{*} ermittelt aus tabellarischen Einzelangaben in der Originalarbeit

Tab. 23: Vergleich der Ergebnisse verschiedener Autoren für die Rechts-Links-Verteilung der Perfusion. Mit Ausnahme von FEINE angegeben in Prozenten. Eigene Ergebnisse umgerechnet in Prozente. Abkürzungen siehe Tab. 1, S. 6 .

Die Quotienten dieser Arbeit wurden anhand folgender Formeln in Prozente umgerechnet:

$$\frac{Q_{1,3} \times 100}{Q_{1,3} + Q_{2,4}} = \% Q_{r,1}$$

$$\frac{Q_1 \times 100}{Q_1 + Q_2} = \% Q_{1,2}$$

$$\frac{Q_3 \times 100}{Q_3 + Q_4} = \% Q_{3,4}$$

Die Ergebnisse von TONG (67) sind mit den hier ermittelten nicht vergleichbar, da bei ihm die Injektion in liegender Position des Patienten vorgenommen wurde. Wie mehrfach beschrieben wird (1,13,15,24,27,40,52,66,75,78), entsteht durch Injektion am liegenden Patienten gegenüber der hier und den meisten anderen Autoren gewählten aufrechten Position eine Perfusionsumverteilung in die oberen Lungenabschnitte.

FEINE (24) gibt seine ermittelten Normalwerte als Quotienten und nicht in Prozenten an, wie es auch in dieser Arbeit getan wurde. Er erhält deutlich höhere Werte, d. h. vermehrte Aktivität in der rechten Lunge, ein Ergebnis, welches, wenn auch weniger deutlich, von allen Autoren erhalten wird. Eingedenk des "Störfaktors Herzgröße" (s.o.) ist es zu verstehen, daß die Quotienten aus rechtem und linken unteren Quadranten ($Q_{3,4}$) und somit die aus rechter und linker Lunge ($Q_{r,1}$) größer sind als die wohl vornehmlich zur Beurteilung heranzuziehenden Quotienten aus rechtem und linkem Lungenoberfeld ($Q_{1,2}$). Diese wie auch die Quotienten aus rechter und linker Lunge ($Q_{r,1}$) entsprechen bei den Normalfällen den Werten der angegebenen Autoren.

Bei Pulmonalstenose wird bei allen Autoren eine Abnahme der Perfusion in der rechten Lunge gefunden. Diese Beobachtung wird auch von CHEN (11) beschrieben und von DUNNE (18) folgendermaßen erklärt: der durch die stenosierte Taschenklappe gepreßte Blutstrahl fließt vornehmlich in die linke Arterie pulmonalis, die in direkter Linie aus dem Truncus pulmonalis entspringt. FRIEDMAN (28) erhält gegenüber den Normalfällen signifikant niedrigere Werte ($2p < 0,02$) im Gegensatz zu den hier vorliegenden Ergebnissen.

Bei der Gruppe mit Links-Rechts-Shunt existiert kein signifikanter Unterschied der Perfusionsverhältnisse rechte zu linker Lunge gegenüber den Normalfällen. Lediglich TONG (67), der auch die Ergebnisse von WHITLEY (77) als Bestätigung seines Befundes anführen kann, beschreibt bei Patienten mit Ventrikelseptumdefekt mit 59,6 % Aktivitätsanteil in der rechten Lunge einen erheblich höheren Perfusionsgrad rechts. Diese Ergebnisse erlauben jedoch wegen der anderen Position der Patienten während der Injektion keinen quantitativen Vergleich mit den hier ermittelten Werten. Der gleiche Einwand gilt für die Fälle mit Fallot'scher Tetralogie. TONG (67) erhält deutlich weniger Aktivität in der rechten Lunge, wobei hier ein Mittelwert der von ihm einzeln tabellarisch aufgeführten Fälle mit Fallot'scher Tetralogie gebildet wurde, um seine Werte mit den Quotienten dieser Arbeit vergleichen zu können. FRIEDMAN's und die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen keine bedeutsamen Abweichungen von den Normalfällen, während PUYAN und Mitarbeiter (57) von vermehrter Radioaktivität der rechten Lunge sprechen aufgrund der "Anatomie des Ausflußtraktes des rechten Ventrikels und der rechten Pulmonalarterie".

Bei der Betrachtung der Rechts- zu Links-Verteilung in Abhängigkeit vom PAD fällt auf, daß bei niedrigerem Druck der A. pulmonalis als Trennbereich schärfere Aussagen über die Rechts-Links-Verteilung der Perfusion möglich sind. Am günstigsten erscheint nach den hier ermittelten Ergebnissen eine Unterteilung in Druckwerte $\text{syst.} \geq 27 \text{ mmHg}$ und $< 27 \text{ mmHg}$. Wie oben berichtet, ist die Definition eines Trennwertes für normalen und erhöhten PAD nicht einheitlich (S. 46 und S. 50). Der Trennwert von 27 mmHg erwies sich bei obigen Ermittlungen als zweckmäßig und ermöglicht die Aussage: mit Hilfe der Quotientenbetrachtung $Q_{1,2}$ und $Q_{r,1}$ ist es möglich, Arteria pulmonalis-Werte < 27 von denen $\geq 27 \text{ mmHg}$ systolisch eindeutig zu unterscheiden (Tab. 14 c, S. 58).

Diese Beobachtung kann dadurch erklärt werden, daß der Gesamtquerschnitt der durchströmten Pulmonalgefäße rechts größer ist als links. Also ist auch auf der rechten Seite bei Anstieg des Druckes in den Pulmonalgefäßen ein höheres Ansteigen der Aktivitätsraten zu erwarten, entsprechend dem größeren Gesamtquerschnitt. Diese Erklärung trifft auch zu auf die Feststellung, daß eine schwache lineare Abhängigkeit vorliegt zwischen der Größe des Quotienten aus rechtem und linkem Oberfeld ($Q_{1,2}$) und dem pulmonal-arteriellen Druck (Tab. 15, S. 59). Wiederum verhindert die stark variierende Herzgröße durch wesentliche Beeinflussung des vierten Quadranten ein entsprechendes Ergebnis des Quotienten $Q_{3,4}$ und somit des Quotienten $Q_{r,l}$. Dieses Ergebnis entspricht nur teilweise den Aussagen von LUTHER (51), der zwar bei Patienten mit Mitralklappenvitien bei einem Viertel der Fälle eine Verminderung der Durchblutung in der linken Lunge beschreibt, jedoch zeigte sich die Umverteilung bei seinen Fällen unabhängig von der Höhe des pulmonal-arteriellen- oder des Lungenkapillardruckes. SPELLBERG und Mitarbeiter (62) beschreiben den hier erhaltenen Ergebnissen entsprechend - bei Patienten mit erworbenen Herzfehlern häufig eine niedrigere Perfusionsrate in der linken Lunge, wofür keine endgültige Erklärung angegeben werden kann. Die gleiche Beobachtung bei Vorhofseptumdefekten wird von WHITLEY (77) beschrieben. GARFUNKEL (30) findet entsprechende Ergebnisse bei Fällen mit einem offenen Ductus arteriosus. Er führt als Erklärung für diese Perfusionsminderung in der linken Lunge eine "overaeration and decreased vascularity" an. DAWSON (16) beschreibt eine Reduktion der Perfusions-/Ventilationsrate in der linken Lunge bei Fällen mit Mitralstenose. Er vermutet, daß die "relative Hypoventilation" das Ergebnis einer Kompression oder Distorsion des linken Hauptbronchus ist.

SPELLBERG (62) ermittelt ferner, daß die Hypoventilation der linken Lunge mit dem erhöhten pulmonalen Gefäßwiderstand, dem Druck in den Lungenarterien und vor allem mit der Herzgröße korreliert. Daß eine Cardiomegalie keine rein mechanische Ventilationsverminderung im entsprechenden Bereich hervorruft, wird dadurch deutlich, daß relativ normale Verteilung der Aktivität in diesem Bereich bei zahlreichen Perfusionsszintigrammen gefunden wird (entsprechend der Beobachtung auf S. 84). Die sonst enge Beziehung zwischen Perfusion und Ventilation wird vielfach angegeben (2,12,16,43,75).

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Lungenperfusionsszintigrafie mit den hier zur Verfügung stehenden Mitteln trotz relativ einfacher technischer Voraussetzungen eine gute semi-quantitative Aussage erlaubt beim Vergleich der rechten mit der linken Lunge. Signifikante Unterschiede zwischen Normalfällen und pathologischen Gruppen sind, wie auch die zum Vergleich herangezogene Literatur zeigt, nur selten zu erwarten.

C) Verteilung obere zu unteren Lungenhälften

Stellt man die in dieser Arbeit ermittelten Quotienten für Lungenperfluationsverhältnisse oben zu unten den in der internationalen Literatur angeführten Ergebnissen gegenüber, so erhält man für Normalfälle die in Tabelle 24 aufgeführten Vergleichszahlen.

Wenn auch die Ergebnisse auf den ersten Blick nicht stark voneinander abzuweichen scheinen, so muß man einschränkend die jeweils verschiedene Methode der einzelnen Autoren in Rechnung stellen. Deshalb ist ein direkter Vergleich kaum möglich. Da hier nachgewiesen werden konnte, daß die Lungenperfusion mit steigendem PAD in den oberen Quadranten signifikant ansteigt, werden für den in der Tabelle aufgeführten Vergleich als Normalfälle solche mit normalem PAD (< 27 mmHg systolisch) betrachtet, jetzt unabhängig von bestehenden Herzfehlern.

Autoren	$Q_{1,3}$	$Q_{2,4}$	$Q_{0,u}$
CSAKANY (13)	0,67		
(modifiziert)	0,56		
FEINE (24)			$0,58 \pm 0,084$
GIUNTINI (35)	0,54		
(1./3. Drittel)			
HÖR (40)	0,64	0,87	
(oben zu unten)			
KRISHNAMURTHY (48) (modifiziert)			$0,64 \pm 0,12$
SESTER (59)	0,43		
(1./3. Drittel)			
WINKLER (78)			0,52
FRIEDMAN (27)	$0,43 \pm 0,08$		
(1./3. Drittel)			
eigene Ergebnisse (s. Tab. 11 c)	0,54	0,69	0,60

Tab. 24: Perfusionsverteilung oben zu unten für Normalfälle.
Zusammenstellung der Ergebnisse anderer Autoren und
Vergleich mit den in dieser Arbeit ermittelten Werten.
Modifiziert entsprechend der unterschiedlichen Technik.

Diese Betrachtungsweise ist deshalb möglich, weil in Übereinstimmung mit den in der Literatur angeführten Ergebnisse keine vitientypischen Szintigramme bzw. Verteilungsverhältnisse nachgewiesen werden konnten*.

CSAKANY und Mitarbeiter (13) betrachten von der rechten Lunge nur ein etwa 2 cm dickes Segment der Sagittalebene lateral der Medioclavicularlinie, um die störenden Einflüsse der venösen Einflußbahn und des rechten Herzens auszuschalten. Es werden für Normalfälle oben aufgeführte 2 Zahlenwerte angegeben, die jedoch "beliebig reproduzierbaren Ergebnissen" entsprechen. Der in der vorliegenden Arbeit erhaltene Mittelwert weicht nicht wesentlich von diesen Ergebnissen ab, wenn auch ein Vergleich mit nur zwei Zahlenangaben keine definitiven Aussagen zulassen.

FEINE (24) und WINKLER (78) teilen die Lungenszintigramme in der auch in dieser Arbeit angewandten Weise in vier Quadranten. Die von beiden Autoren angegebenen Werte für Normalfälle betreffen jedoch nur den Quotienten aus den oberen und unteren Lungenhälften ($Q_{o,u}$). Zumindest mit den Ergebnissen von FEINE stimmt der in dieser Arbeit ermittelte Wert nahezu überein. WINKLERS niedrigerer Wert ist möglicherweise dadurch zu erklären, daß für seine Berechnung eine Angerkamera mit angeschlossener Computereinheit zur Verfügung stand - im Gegensatz zu dem in dieser Untersuchung zur Verfügung stehenden rectilinearen beweglichen Scanner mit einfachem Impulszählgerät.

*Verschiedene Autoren (13,27,78) erhalten für Mitralvitien signifikant höhere Quotienten, d. h. einen deutlichen Perfusionsanstieg in den oberen Bezirken. Dieser Befund ist jedoch hier unwichtig, da nur angeborene Herzfehler, also keine Mitralvitien betrachtet werden. Seltene, mit Mitralinsuffizienz oder -stenose kombinierte kongenitale Vitien - z.B. in Verbindung mit einem Vorhofseptumdefekt das Lutembacher Syndrom - sind in dem in dieser Arbeit untersuchten Patientenkollektiv nicht enthalten.

HÖR (40) bestimmt ebenfalls einen Quotienten, entsprechend den Quotienten aus rechtem bzw. linkem Lungenober- zu Unterfeld ($Q_{1,3}$ bzw. $Q_{2,4}$). Seine Ergebnisse liegen höher als die hier ermittelten. (Tab. 24, S. 93). Die durch den "Störfaktor Herzgröße" vorgetäuschte Erhöhung des Quotienten $Q_{2,4}$ veranlaßt diesen Autor, zur Auswertung nur die Ergebnisse der rechten Lunge heranzuziehen. Diese Beschränkung auf die rechte Lunge ist auch für die in dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse sinnvoll, wie sowohl pathophysiologische Überlegungen wie auch die Ergebnisse zeigen (Tab. 25, S. 97). Ferner wird in dieser Arbeit ein Anstieg des Quotienten $Q_{1,3}$ für Patienten mit pulmonaler Hypertonie (der pulmonal-arterielle Mitteldruck liegt hier bei 36,3 mmHg) auf 2,32 angeführt. Dieser Anstieg ist also deutlicher als der in dieser Untersuchung ermittelte. HÖR kann bei Betrachtung der Korrelation zwischen dem Quotienten aus rechtem Lungenober- und Unterfeld und dem pulmonal-arteriellen Druck eine signifikante Abhängigkeit ermitteln. Hierin gleichen sich die Ergebnisse (Tab. 13, S. 57).

KRISHNAMURTHY (46) erhält bei seinen Ermittlungen mit Hilfe einer Angerszintillationskamera für Normalfälle einen Quotienten von 0,64 (Tab. 24, S. 93). Hierbei wird für beide Lungen eine Trennlinie in Höhe des 3. Sternocostalgelenkes gezogen. Dieser Autor bestimmt die Impulse bei anterior-posterior sowie posterior-anterior Aufnahme. Sein Quotient $Q_{o,u}$ wird durch Bildung des arithmetischen Mittels der beiden erhaltenen Zahlenwerte gewonnen. Dies bedeutet eine andere methodische Voraussetzung. Ein endgültiger Vergleich ist also auch hier nicht anzustellen.

FRIEDMAN (28) führt ausführliche Untersuchungen durch, die mit den hier durchgeführten bedingt vergleichbar sind. Er, wie auch SESTER (59) und GIUNTINI (35) bestimmten für die rechte Lunge den Quotienten aus oberem zu unterem Drittel, wobei das mittlere Drittel ausgelassen wurde.

Es konnte gezeigt werden, (Tab.22, S.86) daß die hier erhaltenen Ergebnisse, verglichen mit denen dieser Autoren, trotz unterschiedlicher Methodik, nicht wesentlich voneinander abweichen. Deshalb kann man zumindest grob die Ergebnisse der beiden Untersuchungen vergleichen. Das von FRIEDMAN wie auch von SESTER erhaltene Verteilungsverhältnis für Normalfälle liegt mit 0,43 deutlich niedriger als der von GIUNTINI und der in dieser Arbeit erhaltene Wert von 0,54. Als Grund für die deutlich unterschiedlichen Werte mögen zum einen die oben beschriebenen methodischen Unterschiede gelten (oberes und unteres Drittel der rechten Lunge gegenüber oberem und unterem Quadranten, andere Auswahl der Normalfälle), zum anderen arbeiteten diese Autoren mit weit differierenden technischen Voraussetzungen (wie WINKLER und KRISHNAMURTHY so steht auch SESTER eine Szintillationskamera mit Computereinheit zur Verfügung).

Ein Vergleich der Ermittlungen FRIEDMANS für pathologische Gruppen mit den in dieser Arbeit erhaltenen Ergebnissen zeigt die in Tabelle 25 zusammengestellten Werte.

eigene Ergebnisse	NF	Li-Re-Sh.	PAD↑	Signifikanz (2p <)	
a) Q _{1,3} Q _{2,4} Q _{0,u}	0,61 0,76 0,66		0,71 0,83 0,73	0,1 0,5 0,3	NF PAD↑ PAD ≅ mittl. PAD ≤ 20 mmHg ≅ mittl. PAD > 20 mmHg
Q _{1,3} Q _{2,4} Q _{0,u}	0,63 0,78 0,67		0,87 0,95 0,90	0,005* 0,3 0,01*	NF PAD↑ PAD ≅ mittl. PAD ≤ 36 mmHg ≅ mittl. PAD > 36 mmHg
b) Q _{1,3} Q _{2,4} Q _{0,u}	0,54 0,69 0,60		0,72 0,86 0,75	0,005* 0,02* 0,02*	NF PAD↑ PAD ≅ PAD (syst.) < 27 mmHg ≅ PAD (syst.) ≥ 27 mmHg
c) Q _{1,3} Q _{2,4} Q _{0,u}	0,67 0,82 0,74	0,67 0,77 0,71		0,95 0,7 0,7	NF Li-Re-Sh. Li-Re-Sh. ≅ S.25, Tab. 3 ≅ S.36, Tab. 8
eigene Ergebn.	NF	Li-Re-Sh. + norm. PAD	Li-Re-Sh. + PAD↑	Li-Re-Sh. PAD↑ + PVD↑	Signif. (2p <)
d) Q _{1,3} Q _{2,4} Q _{0,u}		0,51 0,58 0,54	0,75 0,88 0,80		0,025* 0,1 0,05*
FRIED- MAN (28)	0,43 0,43	0,55 0,55	0,68 0,68 0,68	1,09	0,02* 0,005* 0,01* 0,001*
					PAD↑ ≅ PAD (mittl.) > 30 mmHg beurteilt wurde nur die re. Lunge; Quotient 1./3. Drittel PVD↑ ≅ erhöhter pulm. ven. Druck

Tab. 25: Zusammenstellung der Ergebnisse betreffend die Perfusionsverteilung oben zu unten sowie der Ergebnisse von FRIEDMAN (28).

Zur Beantwortung der Frage, ob man mit der hier beschriebenen Methode eine pulmonale Hypertonie nachweisen kann, wurden alle Fälle in solche mit normalem und solche mit erhöhtem PAD unterteilt, unabhängig von bestehender Grundkrankheit. Die Ermittlungen ergaben:

- a) die Betrachtung des pulmonal-arteriellen Mitteldruckes zeigt durch die Quotientenbetrachtung oben zu unten keine eindeutige Unterscheidung zwischen Normalfällen (Mitteldruck der A. pulmonalis ≤ 20 mmHg) und solchen mit pulmonaler Hypertonie. Allerdings kann man eine mittelschwere und schwere (Mitteldruck über 36 mmHg) von niedrigeren Druckwerten durch den Quotienten $Q_{0,u}$ und besser noch durch den Quotienten $Q_{1,3}$ trennen (Tab. 12 b, S.51).
- b) Bei Vergleich der Fälle mit systolischem PAD ≥ 30 mmHg mit denen < 30 mmHg zeigen sich keine signifikanten Unterschiede (Tab. 11 a, S.46). Wählt man hingegen als Trennwert einen PAD von 27 mmHg systolisch, so werden signifikant niedrigere Quotienten für die Gruppe mit niedrigerem PAD erhalten (Tab. 11 c, S.48). Da unabhängig voneinander sowohl für die Rechts-Links-Verteilung wie auch für die Verteilung oben zu unten die größte Trennschärfe bei einem systolischen PAD von 27 mmHg ermittelt wurde, bleibt nachzuforschen, ob dieser Wert auch für andere Untersuchungen einen sinnvollen Trennwert darstellt. Wie hier ermittelt werden konnte, steigt mit dem PAD auch der Wert der Perfusionsverhältnisse der Quotienten $Q_{1,3}$, $Q_{2,4}$, $Q_{0,u}$ in linearer Abhängigkeit (Tab. 13, S.52). Dieses Ergebnis entspricht dem aller anderen Autoren (13,16,28,35,40,41,43,46,51,59,61,78), wobei sich bei WINKLER (78) keine "signifikante Korrelation zwischen dem Grad des Hochdruckes und der Aktivitätsverteilung (kranial/kaudal) nachweisen ließ".

- c) Erwartungsgemäß zeigt für diese Fragestellung (Erkennen einer pulmonalen Hypertonie) der Vergleich der Normalfälle wie eingangs (S.25) definiert mit dem Links-Rechts-Shunt-Kollektiv keinen Unterschied.

Zusammen mit den oben angeführten signifikanten Ergebnissen für pulmonal-arterielle Mitteldrucke >36 mmHg gegenüber niedrigeren Druckwerten ermöglicht die hier angewandte Methode eine gute Differenzierung der Normalfälle gegen solche mit mäßigem pulmonal-arteriellen Hochdruck (kleiner als bzw. größer gleich 27 mmHg systolischer PAD) und gegen solche mit mittelschwerem und schwerem pulmonalen Hochdruck (pulmonal-arterieller Mitteldruck über 36 mmHg). Diese Ergebnisse sind deshalb von Bedeutung, weil mit dieser einfachen und risikolosen, nichtinvasiven Methode (im Vergleich zu Herzkatheteruntersuchung) eine gute Verlaufskontrolle möglich ist; zum einen bei solchen Herzpatienten, bei denen ein Anstieg über die Grenze von 36 mmHg systolisch zu befürchten ist (52,69), zum anderen bei den Fällen, bei denen postoperativ eine Abnahme des PAD erwartet werden kann (36,46,78).

Erneut sieht man in Tabelle 25, daß der Quotient aus linkem Ober- und Unterfeld ($Q_{2,4}$) in seiner Aussagekraft den beiden anderen Quotienten unterlegen ist. Sicherlich ist diese Beobachtung bedingt durch die stark variierende Herzgröße, die alle Verhältnissverhältnisse, an denen der 4. Quadrant beteiligt ist, stört. Somit ist der Quotient aus rechtem Ober- und Unterfeld ($Q_{1,3}$) bei der Betrachtung der Verhältnisse oben zu unten am aufschlußreichsten, ebenso wie bei der Rechts-Links-Betrachtung der Quotient aus rechtem und linkem Oberfeld ($Q_{1,2}$). Dementsprechend benutzten die meisten Autoren für die Bestimmung von Verhältnissverhältnissen in der Lunge vornehmlich nur die rechte Lunge (13,28,35,59).

- d) Die oben durchgeführten Untersuchungen, ob sich bei Patienten mit Links-Rechts-Shunt die Verteilung oben zu unten in Abhängigkeit vom systolischen Druck der A. pulmonalis ändert, zeigt zwar keine signifikanten Unterschiede für den Trennwert von 30 mmHg (Tab. 9 a, S.37), jedoch wiederum deutliche Signifikanzen für eine Unterteilung bei dem Druckwert von 27 mmHg (Tab. 9 c, S.39). Für den Quotienten $Q_{2,4}$ gilt oben geäußelter Einwand. Die für das gleiche Kollektiv angestellte Berechnung, ob zwischen den beiden Größen (Quotient und PAD) eine lineare Korrelation besteht (Tab. 10, S.41), läßt diese zwar für den Quotienten $Q_{a,u}$ sowie für den Quotienten $Q_{2,4}$ erkennen, nicht jedoch bei Anwendung der 5%-Schranke für den Wert $Q_{1,3}$ (Tab. 10, S.41). Es wäre durch größere Versuchsreihen nachzuforschen, ob auch für den Quotienten $Q_{1,3}$ die gleiche Abhängigkeit besteht. Aus einfachen pathophysiologischen Überlegungen wäre dies zu erwarten.

FRIEDMAN erhält signifikante Unterschiede beim Vergleich von Normalfällen mit Patienten mit Links-Rechts-Shunt ohne Anstieg des PAD, beim Vergleich der Normalfälle mit einer Gruppe von Patienten mit erhöhtem PAD wie auch zwischen Patienten mit Links-Rechts-Shunt ohne erhöhtem, wie solche mit erhöhtem PAD.

Wie beschrieben, zeigt der Vergleich der Normalfälle (gemäß Definition S.25) mit dem gesamten Links-Rechts-Shunt-Kollektiv keine Unterschiede. Teilt man jedoch das Kollektiv der Fälle mit Links-Rechts-Shunt auf in solche mit normalem und solche mit erhöhtem PAD, so erhält man ein Ergebnis, das nahezu identisch den oben angeführten Betrachtungen ist: a) Für eine Unterteilung in systolische pulmonal-arterielle Druckwerte $\geq$ und < 30 mmHg wie auch für einen mittleren systolischen pulmonal-arteriellen Druck $\geq$ und < 20 mmHg ergeben sich keine signifikanten Unterschiede (Tab. 9 a, 9 b, S.37). b) Wiederum sind die Unterschiede zwischen

beiden Gruppen signifikant, wenn als Trennwert ein systolischer PAD von 27 mmHg gewählt wird, gemäß der bekannten Tatsache, daß mit Anstieg des PAD die Durchblutung in den Lungenoberfeldern ansteigt. Durch dieses Ergebnis werden Verlaufskontrollen ermöglicht sowohl bei Bändelung, wie auch bei vollständig korrigierenden Operationen.

Diese Ergebnisse entsprechen denen von FRIEDMAN. Seine Ermittlungen erlauben sogar eine eindeutige Unterscheidung der Fälle mit Links-Rechts-Shunt in solche mit erhöhtem pulmonal-arteriellem Druck und pulmonal-venösem Druck. Dieser Befund allerdings kann von anderen Autoren nicht bestätigt werden (40,78).

Mit Hilfe der hier beschriebenen einfachen semiquantitativen Meßmethode kann man also gut eine pulmonale Hypertonie diagnostizieren, wie auch lineare Korrelationen nachweisen für den pulmonal-arteriellen Druck und die Perfusion in den Lungenoberfeldern. Ein Links-Rechts-Shunt ist mit dieser Methode nicht kenntlich zu machen.

D. Betrachtung des Quotienten Q_L

Um eventuell vorhandene extrapulmonale Aktivität zahlenmäßig zu erfassen, wurde das Aktivitätsmaximum über der Leber (S.81) bestimmt, um mit den Quotienten aus dem Aktivitätsmaximum der Leber zu dem der Lunge zu arbeiten. FRIEDMAN (28) maß zu diesem Zweck die Impulse über der ventralen Fußfläche sowie über dem Handteller, TONG (67) die Aktivität über den Nieren. LIN (48) beschreibt zur quantitativen Erfassung eines Rechts-Links-Shunts bei Patienten mit Fallot'scher Tetralogie ein Verfahren, welches von der Tatsache ausgeht, daß 94 % bis 97 % der verabreichten radioaktiven Substanz bei Normalfällen im Lungenkapillargeßsystem zurückgehalten werden. Mit Hilfe eines "ring-type body counter" wird der extrapulmonal verbleibende Anteil quantitativ ermittelt und aus dieser Größe der Rechts-Links-Shunt berechnet.

Eine weitere Möglichkeit der quantitativen Bestimmung eines Rechts-Links-Shunts wird von GATES und Mitarbeitern (31) angegeben. Quotientenermittlungen in der hier durchgeführten Weise werden von keinem dieser Autoren angestellt. Es ist zu berücksichtigen, daß dilatierte Bronchialarterien oder große aorto-pulmonale Shunts der Leber Radioaktivität "stehlen", somit also den Quotienten Q_L verfälschen können. Ferner gilt es zu bedenken, daß auch mit der Farbstoffverdünnungsmethode (39) ein Rechts-Links-Shunt auf einfache und komplikationsarme Weise diagnostiziert werden kann, ähnlich dem Verfahren LINS (48) mit einer radioaktiven Substanz als Indikator. Dadurch wird der Wert der hier beschriebenen Methode als einfache Screening-Methode jedoch keineswegs geschmälert, da man mit einem einzigen Arbeitsgang, nämlich dem Lungenperfusionsszintigramm bei Patienten mit vermuteten Herzfehlern Auskunft erhalten kann. 1. Über die Perfusionsverhältnisse in beiden Lungen allgemein, 2. Über eventuell bestehende pulmonale Hypertonie, 3. Über einen eventuell vorhandenen Rechts-Links-Shunt.

E. Vergleich Szinti-scanner und Szintillationskamera

Obige Ermittlungen wurden mit einem Nuklear-Szinti-Scanner durchgeführt. Die Methode ist auch heute durchaus noch aktuell, wie verschiedene Arbeiten zeigen (13,36,48,51,56,57,61). GIUNTINI (36) zieht zur Ermittlung von Zählraten die Benutzung eines Szinti-Scanners vor, da dadurch genauere Ergebnisse zu ermitteln seien. Mehrere der oben angegebenen Autoren benutzen statt dessen eine Szintillationskamera. (z.B. 46,62,78). Während die Aussagekraft für die genannte Fragestellung bei beiden Methoden etwa die gleiche ist, spricht der Zeitfaktor je Untersuchung für die Benutzung einer Szintillationskamera - etwa 30 Minuten für ein Scan-Bild gegenüber 90 Sekunden für ein Szinti-Photo (26). Dadurch ist es möglich, in kurzem Abstand mehrere Untersuchungen durchzuführen, zum Beispiel die Bestimmung von Perfusions- und Ventilationsraten (13,36,62,70),

was diagnostische Differenzierungen zwischen primären Durchblutungs- oder Belüftungsstörungen der Lunge zuläßt. Auf diese Weise lassen sich allgemein Funktionsabläufe in definierten Organbezirken analysieren (8,45).

Durch Anwendung der Szintillationskamera ist es infolge der kurzen Untersuchungsdauer auch möglich, schneller zerfallende radioaktive Substanzen zu verwenden (zum Beispiel ^{99m}Tc , HWZ 6 Stunden, ^{113m}In , HWZ 1,7 Stunden; dagegen ^{131}I , HWZ 8 Tage). Auf diese Weise wird versucht, die gesamte Strahlenbelastung des Patienten für jeden diagnostischen Eingriff möglichst gering zu halten, obwohl die Strahlenbelastung für ein Lungenszintigramm mit ^{131}I in der Größenordnung von einer Röntgen-Thoraxaufnahme liegt (47) und somit noch keine wesentliche Belastung darstellt.

Begünstigt gerade für quantitative Ermittlungen bei Kindern ist die Szintillationskamera auch deshalb, da infolge schneller Beendigung der Untersuchung geringere Ungenauigkeiten durch Bewegung (seitlich oder in der kraniokaudalen Richtung) der Kinder entstehen können.

F. Kritik der Methode

Die bei dem Vergleich oben zu unten auftretenden Abweichungen von den Ergebnissen anderer Autoren werden zum Teil durch folgende Bemerkungen verständlich:

1. Das Farb- und Fotoscan wurde gezeichnet nach Einstellung eines gewissen "back ground cut off"; d. h. eine Grundaktivität von beispielsweise 10 % wurde optisch nicht dargestellt, eine Methode zur besseren Aufzeichnung von Aktivitätsunterschieden. Dieser "background cut off" wurde jedoch nicht von dem hier benutzten Zählgerät übernommen. Das heißt, auch die Untergrundaktivität wurde registriert. Da das Gerät somit alle Impulse zählt, wird auch die extrapulmonale Aktivität registriert (auf den "Störfaktor Herzgröße" wurde mehrfach hingewiesen). Da die oberen Quadranten lateral mehr Raum haben, der nicht von Lungengewebe ausgefüllt ist, als die unteren,

wie in nebenstehender Skizze angedeutet, geht in die Berechnungen ein systematischer Fehler ein, denn die Quotienten schließen die (gegenüber dem 3. bzw. 4. Quadranten) größere extrapulmonale Aktivität des 1. bzw. 2. Quadranten mit ein. Diese Tatsache beeinträchtigt die Genauigkeit der Ermittlung der die Lungenober- und Unterfelder betreffenden Quotienten ($Q_{1,3}$, $Q_{2,4}$, $Q_{o,u}$).

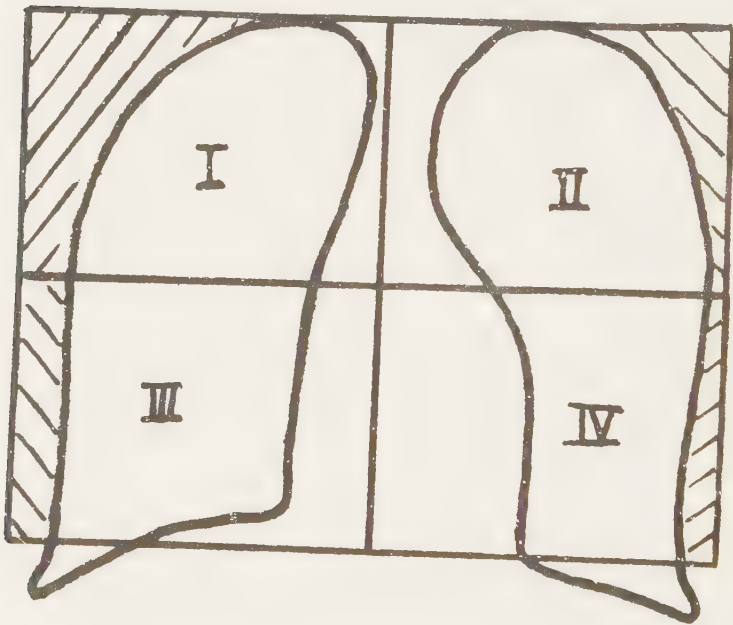


Abb. 27: Aufteilung der Lunge in 4 Quadranten. Schräggestrichelt der Raum mit extrapulmonaler Aktivität (Mediastinalraum ausgelassen). Größerer Anteil in den Oberfeldern als im 3. und 4. Quadranten.

Zwar könnte man jetzt versuchen, diesen Fehler zu eliminieren, indem man planimetrisch diesen zu viel gezählten Raum und seinen prozentualen Anteil am jeweiligen Quadranten bestimmt und diesen Prozentsatz von der Aktivität eines jeden Quadranten subtrahiert. Doch gegen diese Manipulation spricht zum einen der Aufwand, zum anderen, daß aus obigem Fehler ein anderer wird; man berechnet die Fläche. Das Volumen, welches in Wirklichkeit vorliegt, zu bestimmen, gelingt dagegen nicht.

Für derartige Ermittlungen ist dem hier benutzten Gerät eine Szintillationskamera mit angeschlossenem Datenverarbeitungssystem deutlich überlegen, da dabei nur die tatsächlich perfundierten Lungenareale mit Hilfe eines light-pan oder joy-stick umfahren werden können.

2. Wie oben beschrieben, wiesen die Fälle mit einem nachgewiesenen Rechts-Links-Shunt hohe extrapulmonale Aktivität auf (S.71). Die Grenze zwischen der Lunge im Bereich des 3. Quadranten und der Leber ist bei solchen Fällen nicht sicher zu ziehen. Entsprechendes gilt für den 4. Quadranten und die Milz (8,37). Somit ist in allen Fällen dieser Gruppe eine Ungenauigkeit bezüglich der Aktivitätsmessung für die unteren Lungenabschnitte vorhanden. Durch eingangs geschilderte Standardisierung des Verfahrens (S.8) wurde versucht, unter Zuhilfenahme der Röntgen-Thoraxaufnahme diesen Fehler weitgehend zu eliminieren. - Nicht beeinflusst wird durch obigen Einwand die Ermittlung der Impulsmaxima über Lunge und Leber, die sich in jedem Fall eindeutig feststellen lassen.

Zusammenfassend handelt es sich bei der hier angewandten Methode um ein einfaches, nahezu risikoloses, nichtinvasives Verfahren, welches bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern diagnostisch wertvolle Informationen vermittelt und gute prae- und postoperative Verlaufs- bzw. Erfolgskontrollen ermöglicht.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird eine Methode beschrieben, durch Unterteilung der Lunge in 4 Quadranten mit Hilfe eines einfachen Impulszählgerätes Aktivitäts-Verteilungsverhältnisse zu erhalten. Anhand dieser Quotienten werden folgende Fragen untersucht und wie folgt beantwortet:

- 1) Gibt es vitientypische Szintigrammbefunde?

In Übereinstimmung mit verschiedenen Autoren kann diese Frage verneint werden.

- 2) Ist a) ein Rechts-Links-Shunt (unter Berücksichtigung auch der extrapulmonalen Aktivität) oder b) ein Links-Rechts-Shunt zu erkennen?

a) Durch Ermitteln des Quotienten Q_L (Impulsmaximum über der Leber dividiert durch Impulsmaximum über der Lunge) gelingt es eindeutig, Fälle mit Rechts-Links-Shunt zu unterscheiden von Normalfällen und von solchen mit Links-Rechts-Shunt. Dabei zeigt sich, daß bei einem $Q_L \geq 30$ mit einem Rechts-Links-Shunt zu rechnen ist.

b) Ein Links-Rechts-Shunt-Kollektiv ist durch diese Betrachtungsweise nicht von Normalfällen zu unterscheiden.

- 3) Kann man durch Perfusionsumverteilung in die oberen Lungenbezirke mit Hilfe veränderter Verteilungsverhältnisse Existenz oder Ausmaß einer pulmonalen Hypertonie diagnostizieren? Man erhält folgende Ergebnisse:

a) Veränderung der Perfusion zugunsten der Lungenoberfelder: Bei einem Trennwert von 30 mmHg (systolischer pulmonalarterieller Druck = PAD) werden keine signifikanten Unterschiede ermittelt, jedoch erhält man eindeutige Perfusionssteigerung in den Lungenoberfeldern sowohl bei einem systolischen Trennwert von 27 mmHg, als auch bei einem Trennwert

von 37 mmHg (pulmonal-arterieller Mitteldruck). Für diesen Trennwert erhält man signifikante Unterschiede nur für die rechte Lunge und für beide Lungenoberfelder, nicht für Ermittlung nur der linken Lunge. Man kann also Fälle mit normalem von solchen mit allgemein systolisch erhöhtem PAD unterscheiden, wie auch bei erhöhtem PAD durch Betrachtung des Mittelwertes zwischen Fällen mit normalem und leicht erhöhtem und solchen mit deutlich erhöhtem PAD (≥ 37 mmHg) differenzieren.

Die deutlichsten Unterschiede erhält man bei diesen Untersuchungen für die rechte Lunge.

b) Veränderung der Perfusion bei der Rechts-Links-Verteilung: Wiederum bei einem Trennwert von systolisch 27 mmHg erhält man signifikant höhere Perfusionsverhältnisse zugunsten der rechten Lunge, und zwar sowohl für die oberen Lungenquadranten wie auch für beide Lungen insgesamt, nicht jedoch für die unteren Lungenquadranten.

Für alle Ermittlungen gilt: die stark variierende Herzgröße stellt einen erheblichen Störfaktor dar, der die Aussagekraft aller Ergebnisse, an denen der entsprechende Lungenbezirk beteiligt ist, einschränkt.

Im Vergleich mit anderen, aufwendigeren Untersuchungsmethoden zeigt sich, daß man mit dem geschilderten Verfahren durchaus brauchbare Ergebnisse erhält: Durch diese einfache, nichtinvasive Methode erhält man in einem Arbeitsgang bei Patienten mit vermuteten Herzfehlern Auskunft über

1. die Perfusionsverhältnisse in beiden Lungen allgemein,
2. eventuell bestehenden pulmonalen Hochdruck und
3. einen eventuell vorhandenen Rechts-Links-Shunt.

Literaturverzeichnis

- 1 Atkins, H.L., W. Hauser, P. Richards, J. Klopfer: Adverse reactions to radiopharmaceuticals. J. nucl. Med. 13 (1972), 232
- 2 Ball, W.C., P.B. Stewart, L.G.S. Newsham, D.V. Bates: Regional pulmonary function studied with Xenon 133. J. clin. Invest. 41 (1962), 519
- 3 Benacerraf, B., B.N. Halpern, C. Stiffel, S. Gruchaud, G. Biozzi: Phagocytose d'une fraction du sérum chauffé et iodé par le système réticulo-endothélial et comportement consécutif de ses cellules a l'autres colloides. Ann. Inst. Pasteur 89 (1955), 601
- 4 Bodechtel, G., H. Blömer: Die Herzfehler: Ihre Symptomatologie und Hämodynamik. 2. Aufl., München-Berlin: Verlag Urban und Schwarzenberg, 1966
- 5 Blik, A.J., J.E. Bachynski: Two severe reactions following a pulmonary scan in a patient with idiopathic pulmonary haemosiderosis. J. nucl. Med. 12 (1971), 90
- 6 Bronstein, I.N., K.A. Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik. 5. Aufl., Leipzig: Teubner Verlag, 1962
- 7 Bryan, A.C., W.D. Macnamara, J. Simpson: Effect of acceleration on the distribution of pulmonary blood flow. J. appl. Physiol. 20 (1965), 1129
- 8 Carey, J.E., J.M. Purdy, D.C. Moses: Localization of ^{133}Xe in liver during ventilation studies. J. nucl. Med. 15 (1975), 1179
- 9 Cavalli-Sforza, L.: Biometri. Grundzüge biologisch-medizinischer Statistik. 2. Aufl., Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1969
- 10 Chaudhuri, T.K., T.K. Chaudhuri, J.H. Christie: Lung scan with $^{87}\text{m-Sr-Phosphate}$ macroaggregates. J. nucl. Med. 12 (1971), 347
- 11 Chen, J.T.T., A.E. Robinson, J.K. Goodrich: Uneven distribution of pulmonary blood flow between left and right lungs in isolated valvulär pulmonary stenosis. Amer. J. Roentgenol. 107 (1969), 343
- 12 Chernik, V., V. Lopez-Majano, H.N. Wagner Jr., R.E. Dutton: Estimation of differential pulmonary blood flow by bronchosprometry and radioisotope scanning during rest and exercise. Amer. Rev. resp. Dis. 92 (1965), 958
- 13 Csakany, G., T. Hernady, M. Erdélyi Jr.: Untersuchungen zur apiko-basalen Kaliberdiskrepanz und Lungenperfusion mit der Szintillationskammer. Radiol. diagn. 2 (1975), 215

- 14 Davies, L.G., J.F. Goodwin, R.E. Steiner, B.D. van Leuven: The clinical and radiological assessment of the pulmonary arterial pressure in mitral stenosis. *Brit. Heart J.* 15 (1953),393
- 15 Dawson, A.: Regional pulmonary blood flow in sitting and supine man during and after acute hypoxia. *J. clin. Invest.* 48 (1969),301
- 16 Dawson, A., J.M. Rocamora, J.R. Morgan: Relative ventilation and perfusion of left versus right lung in mitral stenosis. *Amer. J. Cardiol.* 34 (1974),284
- 17 Dollery, C.T., J.B. West, D.E.L. Wilcken, J.F. Goodwin, P. Hugh-Jones: Regional pulmonary blood flow in patients with circulatory shunts. *Brit. Heart J.* 23 (1961),225
- 18 Dunne, E.F.: *Cardiac Radiology*. p. 205, Philadelphia: Lea and Febiger, 1967
- 19 Dworkin, H.J., J.R. Smith, F.E. Bulli: A. reaction following administration of macroaggregated albumin (MAA) for a lung scan. *Amer. J. Roentgenol.* 98 (1966),427
- 20 Ernst, H., E. Iglauer, H. Kronschwitz, E. Spode: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Frage der Therapie von Lungentumoren mit Hilfe radioaktiver Gold-Kohle-Suspension. *Strahlentherapie* 107 (1958),382
- 21 Ernst, H., B. Bräuer, G. Meissner: Scintigraphische Untersuchungen bei Lungentumoren. *Fortschr. Röntgenstr.* 102 (1965),545
- 22 Euler, U.S.V., G.v. Liljestrand: Observations on the pulmonary arterial blood pressure in the cat. *Acta physiol. scand.* 12 (1946),301
- 23 Euler, U.S.V., G.v. Liljestrand: The regulation of respiration during muscular work. *Acta physiol. scand.* 12 (1946),268
- 24 Feine, U.: Das Lungenperfusionsszintigramm. *Dtsch. med. Wschr.* 93 (1968),1108
- 25 Fendel, H., U. Feine: Lungenszintigraphie im Säuglings- und Kindesalter. *M Schr. Kinderheilk.* 118 (1970),601
- 26 Flicker, V., S. Smith, S. Halgern, L. Miller, C. Bogarns: 99mTc-Sulfur Colloid macroaggregates for lung scanning. *J. nucl. Med.* 12 (1971),432
- 27 Friedman, W.F., E. Braunwald: Alterations in regional pulmonary blood flow in mitral valve disease studied by radioisotope scanning. *Circulation* 34 (1966),363

- 28 Friedman, W.F., E. Braunwald, A.G. Morrow: Alterations in regional blood flow in patients with congenital heart disease studied by radioisotope scanning. *Circulation* 37 (1968),747
- 29 Friedman, W.F., E. Braunwald, A.G. Morrow: Diagnostic value of lung scanning in congenital heart disease. *Circulation* 33 and 34 (Suppl. III) (1966),105
- 30 Garfunkel, J.M., J.A. Kirkpatrick: Decreased vascularity of the left lung and unequal aeration of the lung as a manifestation of patent ductus arteriosus. *Amer. J. Roentgenol.* 89 (1963),1012
- 31 Gates, G.F., H.W. Orme, E.K. Dore: Measurement of cardiac shunting with Technetium-labeled albumin aggregates. *J. nucl. Med.* 12 (1971),746
- 32 Geigy, J.R. AG: Wissenschaftliche Tabellen. 7. Aufl., Basel: Geigy AG, Pharma, 1969
- 33 Gibel, W., T. Matthes, H. Ernst, E. Spode: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Diagnostik von Gefäßverschlüssen der A. pulmonaris durch radioaktive Gold-Kohle-Suspension. (Vorläufige Mitteilung). *Fortschr. Röntgenstr.* 96 (1962),350
- 34 Gibel, W., T. Matthes, E. Spode: Weitere Untersuchungen über die Anwendbarkeit einer 198 Au-Kohlesuspension zur Diagnostik pulmonaler Zirkulationsstörungen. *Fortschr. Röntgenstr.* 97 (1962),186
- 35 Giuntini, C., A.M. Santolucandro: Regional lung perfusion assessed by scintigraphy in normal subjects at rest and during exercise. Normal Values for respiratory function in man. *Parminerva med.* (1970),294
- 36 Giuntini, C., M. Miriani, A. Barsotti, F. Fazio, A.M. Santolucandro: Factors affecting regional pulmonary blood flow in left heart valvular disease. *Amer. J. Med.* 57 (1974),421
- 37 Gold, R.P., Ph.M. Johnson: Efficacy of combined liver-lung scintillation imaging. *Radiology* 117 (1975),105
- 38 Harutunian, L.M., G.A. Neill, H.W. Wagner, Jr.: Radioisotope scanning of the lung in cyanotic congenital heart disease. *Amer. J. Cardiol.* 23 (1969),387
- 39 Hegglin, R., W. Rutishauser: Kreislaufdiagnostik mit der Farbstoffverdünnungsmethode. Stuttgart: Thieme Verlag, 1962
- 40 Hör, G., J. Klemm, H. Langhammer, H. Grohmann, H.W. Pabst, K.W. Frey, B.K. Tan: Ergebnisse der Lungenperfusionsszintigraphie mit ^{113m}In -Fe-Hydroxis-Makrokolloid beim Gesunden und bei pulmonaler Hypertonie mit kasuistischen Beiträgen bei angeborenen und erworbenen Herzvitien. *Fortschr. Röntgenstr.* 114 (1971),615

- 41 Hughes, J.M.B., J.B. Glazier, D.Y. Rosenzweig, J.B. West: Factors determining the distribution of pulmonary blood flow in patients with raised pulmonary venous pressure. Clin. Sci. 37 (1969),847
- 42 James, A.E., M. Cooper, R.J. White, H.N. Wagner, Jr.: Perfusion changes on lung scans in patients with congestive heart failure. Radiology 100 (1971),99
- 43 Jebavý, P., I. Runczik, A. Oppelt, J. Tilsch, V. Stanek, J. Widimský: Regional pulmonary function in patients with mitral stenosis in relation to haemodynamic data. Brit. Heart J. 32 (1970),330
- 44 Keller, W., A. Wiskott: Lehrbuch der Kinderheilkunde. 3. Aufl., S. 702, Stuttgart: Thieme Verlag, 1969
- 45 Kloss, G.: Nuklearmedizinische Propädeutik. Marburg: Medizinische Verlagsgesellschaft, 1975
- 46 Krishnamurthy, G.T., N.V. Srinivasan, W.H. Bland: Pulmonary hypertension in acquired valvular cardiac disease: evaluation by a scintillation camera technique. J. nucl. Med. 13 (1972),604
- 47 Krüger, J., H. Ernst: Die Lungenscintigraphie. Baden-Baden: Deutscher Röntgenkongress, Hoechst Informationsreihe, 1967
- 48 Lin, Ch.-Y.: Lung scan in cardiopulmonary disease. I. Tetralogy of Fallot. J. thorac. cardiovasc. Surg. 61 (1971),370
- 49 Lopez-Majano, V., D.E. Tow, H.N. Wagner, Jr.: Regional distribution of pulmonary arterial blood flow in emphysema. J. Amer. med. Ass. 197 (1966),81
- 50 Littenberg, R.L.: Anaphylactoid reaction to human albumin microspheres. J. nucl. Med. 16 (1975),236
- 51 Luther, M., H. Czempel, M. Ernst: Perfusionsszintigraphie der Lungen in der Diagnostik von Herzfehlern. Med. Klin. 63 (1973),441
- 52 Marr, K., F. Giargiana Jr., R.I. White Jr.: The radiographic diagnosis of pulmonary hypertension following Blalock-Taussig shunts in patients with tetralogy of Fallot. Amer. J. Roentgenol. 122 (1974),125
- 53 Mattson, S.B., E. Carlens: Lobar ventilation and oxygen uptake in man: Influence of body position. J. thorac. cardiovasc. Surg. 30 (1955),676
- 54 Motley und Mitarbeiter, zit. n. Rossiert, P.H., P.H. Böhlmann, K. Wiesinger: Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. S. 50, Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer Verlag, 1956

- 55 Müller, J.H., P.H. Rossier: De l'emploi d'isotopes radioactifs artificiels, dans le but d'exécuter un effet radio-biologique localisé. *Experimentia* (Basel) 3 (1947),75
- 56 Perloff, J.K., E.J. LeBauer, A. Miali, A.C. de Leon Jr.: Differential quantification of pulmonary arterial flow in left-to-right shunt atrial septal defect using $^{131}\text{-I}$ macroaggregated albumin. *Circulation* 35 and 36 (Suppl. II) (1967),209
- 57 Puyan, F.A., G.R. Meckstroth: Evaluation of pulmonary perfusion patterns in children with tetralogy of Fallot. *Amer. J. Roentgenol.* 122 (1974),119
- 58 Schlehe H., K.J. Wolf: Tierexperimentelle und klinische Untersuchungen zum Nachweis des sog. "alveolo-vasculären Reflexes" (Euler-Liljestrandscher Reflex). In: Horst, W. (Ed.): *Frontiers of Nuclear Medicine, Aktuelle Nuclearmedizin*, p.218 Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag, 1971
- 59 Sester, L.: Quantification of region pulmonary blood flow with a scintillation camera and data processor. *J. nucl. Med.* 12 (1971),481
- 60 Siegenthaler, W.: *Klinische Pathophysiologie*. S. 475 u. 615, Stuttgart: Thieme Verlag, 1970
- 61 Soin, J.S., A.E. James Jr., H.N. Wagner Jr.: Detection of pulmonary hypertension by perfusion lung scan. *Amer. J. Roentgenol.* 118 (1973),792
- 62 Spellberg, R.D., E.L. Suprenant, R.J. O'Reilly: Hypoventilation of left lung in acquired heart disease. *Amer. J. Roentgenol.* 118 (1973),785
- 63 Taplin, G.V., E.K. Dore, D.E. Johnson, H.S. Kaplan: Scientific exhibit on Colloidal Radioalbumin Aggregates for Organ Scanning. Annual Meeting Society of Nuclear Medicine, Montreal, June 26-29, 1963
- 64 Taplin, G.V., D.E. Johnson, E.K. Dore, H.S. Kaplan: Suspensions of radioalbumin aggregates for photoscanning the liver, spleen, lung and other organs. *J. nucl. Med.* 5 (1964),259
- 65 Taplin, G.V., D.E. Johnson, E.K. Dore, H.S. Kaplan: Lung photo-scans with macroaggregates of human serum radioalbumin: Experimental basis and initial clinical trials. *Health Physics* 10 (1964),1219

- 66 Tauxe, W.N., H.B. Burchell, D.W. Chaapel, A. Sprau: Quantitating the effect of gravity on lung scans of macroaggregates of albumin-J 131. J. appl. Physiol. 21 (1966) 1381
- 67 Tong, E.C.K., L. Lin, R.T. Potter, J.P. Sackler, J.G. Rabino-witz: Macroaggregated RISA lung scan in congenital heart disease. Radiology 106 (1973), 585
- 68 Tow, D.E., H.N. Wagner Jr., V. Lopez-Majano, E.M. Smith, T. Migita : Validity of measuring regional pulmonary arterial blood flow with macroaggregates of human serum albumin. Amer. J. Roentgenol. 96 (1966), 664
- 69 Trell, E.: Pulmonary hypertensive in shunt lesions. Klin. Wochr. 52 (1974), 1043
- 70 Treves, S., D.S. Ahnberg, R. Laguarda, D.J. Strieder: Radio-nuclide evaluation of regional lung function in children. J. nucl. Med. 15 (1974), 582
- 71 Vincent, W.R., S.J. Goldberg, D. Desilets: Fatality imme-diately following rapid infusion of macroaggregates of ^{99m}Tc albumin (MAA) for lung scan. Radiology 91 (1968), 1181
- 72 Wagner, H.N. Jr., D.C. Sabiston, Masahiro Iio, J.G. Mc Afee, J.K. Meyer, J.K. Langan: Regional pulmonary blood flow in man by radioisotope scanning. J. Amer. med. Ass. 187 (1964), 601
- 73 Wagner, H.N. Jr., V. Lopes-Majano, D.E. Tow, J.K. Langan: Radioisotope scanning of lungs in early diagnosis of broncho-genic carcinoma. Lancet 1965/I, 344
- 74 Wagner, H.N. Jr.: Principles of Nuclear Medicine. W.B. Sanders, Philadelphia 1968
- 75 West J.B., C.T. Dollery: Distribution of blood flow and venti-lation-perfusion ratio in the lung, measured with radioactive CO_2 . J. appl. Physiol. 15 (1960), 405
- 76 West J.B., T. Dollery, A. Naimark: Distribution of blood flow in the isolated lung: Relation of vascular and alveolar pressures. J. appl. Physiol. 19 (1964), 71
- 77 Whitley, J.E., V. Rudhe, H. Herzenberg: Decreased left lung vascularity in congenital left to right shunts. Acta radiol. (Stockh.) 4 (1963), 1125
- 78 Winkler, C., R. Felix: Szintigraphische Diagnostik bei pulmo-naler Hypertonie. Med. Welt

Lebenslauf

Am 30. 6. 1946 wurde ich in Northeim (Han.) als Sohn des Dr. med. Eberhard Rautenberg und seiner Ehefrau, der Ärztin Lotte, geb. Supp geboren.

Nach dem Besuch von 4 Jahren Volksschule in Langenholtensen (Northeim) und Hannover trat ich 1957 in das dortige Humanistische Gymnasium ein. An dieser Schule legte ich 1966 mein Abitur ab. Nach einem naturwissenschaftlichen Semester an der Universität Kiel, nahm ich 1967 an der Universität München das Medizinstudium auf. 1968 legte ich das Vorphysikum, 1969 das Physikum und 1972 das medizinische Staatsexamen an der gleichen Universität ab.

1971 heiratete ich die Ärztin Barbara Röckl. 1972, 1975 und 1977 wurden unsere drei Töchter geboren.

Nach der Medizinalassistentenzeit in München, Landshut und Goslar erhielt ich 1974 die Approbation als Arzt. Für drei Jahre arbeitete ich an der inneren Abteilung des Kreiskrankenhauses Goslar. Seit 1977 bin ich in der Medizinischen Klinik in Passau tätig.

